Digitale Luft- und Satellitenbilder in der Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Eine empirische Untersuchung mit Kursstufenschüler/innen zur Wirksamkeit für die systemische Erschließung von Erdräumen am Beispiel des Braunkohleabbaus im Rheinland

Von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation von

Markus Jahn

aus

Düren (Rheinl.)

2020

Dissertation an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

Erstgutachter:

Prof. Dr. Alexander Siegmund

Pädagogische Hochschule Heidelberg

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Klaus-Dieter Hupke

Pädagogische Hochschule Heidelberg

Fach:

Geographie

Tag der Mündlichen Prüfung:

12.12.2019

Für meine Mutter,
die viel zu früh von uns gegangen ist.

„Bereits vor meinem ersten Flug wußte ich, daß unser Planet klein und verwundbar ist. Doch erst als ich ihn in seiner unsagbaren Schönheit und Zartheit aus dem Weltraum sah, wurde mir klar, daß der Menschheit wichtigste Aufgabe ist, ihn für zukünftige Generationen zu hüten und zu bewahren.
Sigmund Jähn
Deutsche Demokratische Republik"

Kevin W. Kelley (Hg.) (1989): Der Heimatplanet. S. 140

Vorwort

Die in dieser Arbeit formulierten Forschungsfragen zur Wirksamkeit der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern sind während der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern zum Rheinischen Braunkohleabbau durch Schüler/innen der Sekundarstufe I erstmals aufgekommen. Das als Teil der Online-Lernplattform *GLOKAL Change*[1] vom Autor dieser Arbeit gestaltete Lernmodul *Braunkohle Rheinland*, in dem die visuelle Luft- und Satellitenbildauswertung eine zentrale Herangehensweise bei der Auseinandersetzung mit nachhaltigkeitsrelevanten Fragen zum Braunkohleabbau darstellt, ist in mehreren Klassen der unteren Sekundarstufe I unterrichtlich getestet worden. Wie sich dabei gezeigt hat, konzentrierten sich die Schüler/innen von sich aus vorwiegend auf die im Lernmodul dargestellten Luft- und Satellitenbilder und ignorierten weitere Informationsquellen über die ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen des Abbaus. Stimuliert durch teilweise unbekannte Farben und die interaktiven Möglichkeiten animationsähnlicher Überlagerungseffekte vertieften sie sich schnell in selbstständige oder gemeinsame Versuche, das auf den meist ungewohnten Bildern Dargestellte zu erkennen. Wegen des altersgemäß noch gering ausgeprägten Vorwissens über die Thematik sowie die Rohstoffgewinnung im Allgemeinen endeten die Erkennungsversuche zumeist in Nachfragen. Dennoch gelang es zahlreichen Schüler/innen, Bildinhalte ohne äußere Hilfe richtig zu identifizieren und vereinzelt sogar gedanklich miteinander zu verknüpfen. Angetrieben durch diese kognitive Leistung reifte beim Autor dieser Arbeit die Frage nach den Möglichkeiten und Potenzialen der visuellen Auswertung von digitalen Luft- und Satellitenbildern.

Bei der als offizieller Abschluss des gleichnamigen Projekts im Februar 2012 durchgeführten Tagung *Neue Wege in der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)?! – Potenziale und Grenzen digitaler Medien*[2] ist in einem Workshop u.a. über grundsätzliche Möglichkeiten der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern diskutiert worden, einen Beitrag zur BNE leisten zu können (siehe hierzu in Molitor & Jahn 2014: 111ff.). Im Zuge des Workshops, in dem die in *GLOKAL Change* verwendeten Luft- und Satellitenbilder vom Autor dieser Arbeit vorgestellt wurden, festigten sich die aus dem Unterrichtseinsatz hervorgegangenen Wahrnehmungen bezüglich des Potenzials dieses Mediums als Werkzeug zur Erschließung von Erdräumen, auch unter ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten. Es entwickelte sich hieraus mit der Zeit ein Forschungsinteresse. Die in dieser Arbeit beschriebene wissenschaftliche Untersuchung der Wirksamkeit als Ausgangspunkt für die selbstständige Erschließung eines nachhaltigkeitsrelevanten Systems ist aus verschiedenen inhaltlich-didaktischen Überlegungen heraus mit der Zeit von der Sekundarstufe I auf die Sekundarstufe II (Kursstufe) überführt worden.

---

[1] Die unter www.glokalchange.de/cms/start frei verfügbare Lernplattform zu verschiedenen nachhaltigkeitsrelevanten Themen ist im Rahmen einer Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) in der Abteilung Geographie der Pädagogischen Hochschule Heidelberg zwischen 2009 und 2012 entwickelt worden.

[2] Die Ergebnisse der vom Institut für Geoinformatik der Universität Osnabrück und der Abteilung Geographie der Pädagogischen Hochschule Heidelberg im Zentrum für Umweltkommunikation der DBU in Osnabrück gemeinsam durchgeführten Tagung sind in der Publikation *Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Potenziale und Grenzen.* von Michel, Siegmund, Ehlers, Jahn und Bittner (2012) zusammengefasst.

Danksagung

Für die Möglichkeit, das entwickelte Forschungsinteresse wissenschaftlich untersuchen zu können, und mich dabei auf unterschiedlichen Ebenen und in verschiedenen Belangen zu unterstützen, möchte ich meinem Erstgutachter, Prof. Dr. Alexander Siegmund, meinen großen Dank aussprechen. Dies gilt insbesondere auch nach meinem Wechsel an die Hochschule Bremen im Jahr 2015.

Ebenfalls meinen großen Dank aussprechen möchte ich Prof. Dr. Klaus-Dieter Hupke für die Übernahme als Zweitgutachter.

Ich möchte auch meinen ehemaligen Kolleg/innen, allen voran Dr. Raimund Ditter, Dr. Kathrin Viehrig, Dr. Raimo Becker-Haumann, Dr. Kerstin Voß, Dr. Christina Fiene, Daniel Volz und Prof. Dr. Ulrich Michel, sowie meiner Kollegin an der Hochschule Bremen, Dr. Anna Müller, für ihre Ideen, Anregungen, Rückmeldungen etc. danken.

Ein großer Dank geht an meinen ehemaligen Kollegen Dr. Thomas Kisser für seine Unterstützung bei der Auswertung der im Rahmen dieser Arbeit von den Proband/innen konstruierten und modifizierten Concept Maps.

Ein besonderer Dank geht gleichfalls an Herrn Prof. Dr. Rand R. Wilcox aus dem Department of Psychology der University of Southern California, dem Autor zahlreicher Lehrbücher und Associate Editor von vier Journals zu (robuster) Statistik, für seine fortwährende Fernberatung zu den in dieser Arbeit eingesetzten modernen Auswertungsverfahren der robusten Statistik.

Des Weiteren möchte ich allen Lehrkräften und insbesondere allen Schüler/innen danken, die an der Intervention teilgenommen haben.

Mein allergrößter Dank geht schließlich an meine Frau Farzana:

„এই বছর গুলোতে তোমার অসীম ধৈর্য, বোঝাপড়া এবং সমর্থনের জন্য অসংখ্য ধন্যবাদ.“

Zusammenfassung

Systemisches Denken im Kontext der Nachhaltigkeitsdimensionen gehört zu den zentralen Lernzielen und Gestaltungsprinzipien der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) und des nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterrichts. In diesem Rahmen zielt systemisches Denken darauf ab, Gegenstandsbereiche inhaltlich, räumlich und zeitlich in ihrem systemischen Wesen zu erfassen und ein entsprechendes mentales Systemmodell aufzubauen, das in den kognitiven Strukturen als Systemwissen festgehalten wird und sich über dieses z.B. mittels Concept Mapping externalisieren und damit für eine Analyse zugänglich machen lässt. Für die (Weiter-)Entwicklung des Systemmodells bedarf es der Aneignung von Systeminformationen, die aus einer Vielzahl von Informationsquellen stammen können. Im Geographieunterricht gehören u.a. (topographische) Karten zu den klassischen Medien für die systemische Erschließung von Erdräumen. In zunehmendem Maße gewinnen allerdings auch (digitale) Luft- und Satellitenbilder an Bedeutung. Obschon das Interesse von Lernenden an ihnen durchaus vorhanden ist, ihnen positive Eigenschaften und Wirkungen zugeschrieben werden und ihre unterrichtliche Bedeutung allgemein erkannt wird, dienen sie dennoch vielfach lediglich als visuelles Begleitmedium im Unterricht. Im Zentrum einer systemischen Erschließung von Erdräumen stehend kommen sie hingegen nur äußerst selten zum Einsatz. Vor dem Hintergrund der inhärenten Eigenschaften und Wirkungen stellt sich mit Blick auf die Förderung von Lehr-Lern-Prozessen in der schulischen BNE die bisher unerforschte Frage nach der Wirksamkeit ihrer visuellen Auswertung mit Blick auf die Anwendung von verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE, wenn grundlegende methodische Kenntnisse über sie vorhanden sind (Forschungsdesiderat).

Um die Wirksamkeit explorativ zu untersuchen, ist in dieser Arbeit eine möglichst unterrichtsnahe Interventionseinheit zum nachhaltigkeitsrelevanten System des Braunkohleabbaus und seiner raumzeitlichen Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft entwickelt und im Zuge einer Pilotierung optimiert worden. Mittels Methodentrainings werden verschiedene Störvariablen kontrolliert bzw. grundlegende methodische Kenntnisse sichergestellt. Im Rahmen eines entdeckenlassenden Lernens haben 127 baden-württembergische Kursstufenschüler/innen der Untersuchungsgruppe (UG) digitale Luft- und Satellitenbilder weitestgehend selbstständig computerbasiert ausgewertet und die dabei generierten Systeminformationen unmittelbar in eine zuvor aus dem eigenen Systemvorwissen heraus konstruierte Concept Map eingearbeitet. Über den Vergleich der vorwissensbasierten Concept Map mit der modifizierten Variante wird auf die absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung geschlossen. Die von 108 Kursstufenschüler/innen parallel dazu ausgewerteten digitalen topographischen Karten dienen als Grundlage für die Modifikation der vorwissensbasiert konstruierten Concept Map in der Vergleichsgruppe (VG). Durch die direkte Gegenüberstellung der Concept-Map-Leistungen in beiden Testgruppen wird die relative Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbilder ermittelt.

Das in den Concept Maps repräsentierte Systemwissen wird über ein neu entwickeltes, semistrukturiertes Auswertungsschema für offen konstruierte/modifizierte CMs unter Abgleich mit einem von Bereichsexpert/innen unabhängig erstellten Referenznetz – teilweise von zwei Ratern parallel (Interrater-Vergleich) – bewertet, wobei die jeweiligen Ausprägungen auf inhaltlich-struktureller Ebene wie auf der Wertigkeitsebene über speziell gebildete quantitative Auswertungsgrößen erfasst

werden, die als Indikatoren für die verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE herangezogen werden.

Unabhängig von ungünstigen Verteilungseigenschaften wird die Ausprägung der Auswertungsgrößen in der jeweiligen Concept Map über die modernen Verfahren der robusten Statistik mit ihrer inhärenten α- und β-Fehler-Kontrolle bestimmt, wobei ein weitestgehend valider und reliabler Einblick in die Verhältnisse in und zwischen den beiden Testgruppen sowohl im getrimmten Gruppenmittel als auch im gesamten Bereich der Werteverteilung in den Testgruppen gewonnen wird. Der potenzielle Einfluss von verschiedenen Störvariablen wird in der Untersuchung per Fragebogen erhoben und anschließend (ko-)varianzanalytisch auf Effekte zwischen den Gruppen hin untersucht.

Die Ergebnisse der robusten Auswertung der CM-Daten zeigen, dass es beiden Gruppen in der Intervention sowohl im getrimmten Gruppenmittel als auch in der Breite der Gruppen zu großen Teilen in einem signifikanten Maße gelungen ist, die eigene vorwissensbasierte Systemrepräsentation während der visuellen Auswertung der Luft- und Satellitenbilder (UG) bzw. der topographischen Karten (VG) quantitativ wie qualitativ zu verbessern und sich dabei dem unabhängigen Referenznetz sinngemäß anzunähern. Es liegen teilweise moderate bis große Effekte vor. Der unmittelbare Vergleich der Leistungsverbesserungen in beiden Testgruppen lässt erkennen, dass die Verbesserung seitens der UG etwas stärker ausgefallen ist. Im Bereich der Identifikation der Systemelemente und -prozesse liegt hier eine signifikant bessere Leistung bei der UG vor. Da sich keine Effekte zeigen, die eine andere Erklärung nahelegen, deutet sich insgesamt an, dass sich die Gruppendifferenz möglicherweise auf die Eigenschaften und Wirkungen der eingesetzten digitalen Luft- und Satellitenbilder zurückführen lässt. Die gewonnen Erkenntnisse sind aus verschiedenen Gründen mit Vorsicht zu betrachten, da sich bei der visuellen Auswertung bzw. beim Concept Mapping wahrscheinlich weitere Störvariablen bemerkbar gemacht haben, in deren Folge die wahre absolute Wirksamkeit beider Medien u.U. von der in dieser Arbeit empirisch geschlussfolgerten abweichen kann. Ungeachtet dessen sollten die eingesetzten Methoden und die gewonnen Erkenntnisse Relevanz für die schulische (BNE-)Praxis besitzen.

Abstract

Systems thinking concentrating on the three dimensions of sustainability is one of the fundamental aims in and principles of teaching and learning in education for sustainable development (ESD). The same aim and principle plays a major role in geography lessons in German schools. Within the context of sustainability, systems thinking is about examining the complexity and dynamics of real world phenomena with regards to their content, spatiality and temporality. When thinking about systems, a mental model of the system is constructed in mind, which is retained as systems knowledge. Systems knowledge itself can be externalized, e.g. during an activity such as concept mapping, and, thus, become accessible for an analysis. The development of the systems model is based on the acquisition of systems information in the first place. Relevant systems information can be gathered from a variety of information carriers in general. With regards to geography lessons in school, (topographic) maps are often used for the exploration of systems located in a certain geographical area. Recently, (digital) aerial and satellite imagery becomes more and more important in teaching and learning, too. Students' interest in using this kind of imagery is comparatively high. Although their properties are commonly said to be favorable for learning processes, and albeit their potential for teaching and learning is known in general, (digital) aerial and satellite imagery is rarely applied beyond the stage of a concomitant medium. Being the main or single information carrier is a rare event in geography lessons. Given the inherent potential (digital) aerial and satellite imagery is said to offer in general, its effectiveness in terms of facilitating a stand-alone examination of a system when basic methodical knowledge about aerial and satellite imagery is given has never been explored to date.

To explore the effectiveness in this study, a treatment unit has been developed focussing on the lignite mining in Western Germany and its impacts on the economy, environment and society. In a pilot study, the entire setting and design of the unit has been optimized to minimize the impacts of confounding variables. As another measure to control confounding variables, methodical trainings on different aspects of the treatment have been put into effect. One of those trainings is thought to guarantee basic methodical skills in analyzing (digital) aerial and satellite imagery. In the treatment group (TG), 127 11^{th} and 12^{th} grade pupils from schools located in the federal state of Baden-Württemberg, Germany took part in the computer-based treatment. At first, they have drawn a concept map about lignite mining exclusively based on their prior systems knowledge. Later on, this concept map has been modified while visually analyzing the digital aerial and satellite imagery on screen. Thus, the modified concept map represents the adjusted systems knowledge according to systems information gathered during the visual analysis. Comparing both concept maps gives an insight into how systems knowledge has changed during the intervention. Based on the extent to which both concept maps differ from each other, it is possible to draw a conclusion about the absolute effectiveness of the visual analysis. In the control group (CG), 108 pupils modified their concept map according to the systems information they could generate while analyzing digital topographic maps. Comparing the concept maps of both groups provides a better understanding of how effective the aerial and satellite image analysis is in relation to the topographic map analysis (relative effectiveness).

All concept maps have been scored with regards to content and structure using a novel semi-structured scoring scheme for open-endedly constructed and modified concept maps, which compares each concept map with an independently drawn experts map. One quarter of the concept maps from each group has been scored by two raters independently. Based on qualitative and quantitative parameters of the systems knowledge represented in each concept map it is possible to draw a conclusion on how pupils' skills in systems thinking developed during the intervention.

The statistical analysis of the parameters has been performed using modern robust estimation and hypothesis testing. Independent of sample properties that would have been disadvantageous to traditional analysis, many of the hypothesis tests performed in this study provide a largely valid and reliable insight into the conditions within and between the groups due to robust Type I and Type II error control. This is true for the typical or average value in each group (trimmed mean) as well as for the means in different sections (deciles) of the entire distribution of the values in and between the groups. The extent to which confounding variables, which have been surveyed by questionnaires, do have a moderating effect has been analyzed performing robust ANOVA and ANCOVA methods.

The results of the robust statistical analysis of the concept map data reveal a significant improvement in most parameters during the intervention. This is true for both groups' trimmed mean as well as for the deciles. Effect sizes are moderate to large. Thus, the visual analysis of both, the digital aerial and satellite imagery on the one hand and the digital topographic maps on the other hand, are associated with quantitative as well as qualitative improvements in pupils' systems knowledge. The modified concept maps are also more related to the contents of the experts map. When compared to one other, the improvements of the TG are larger than the ones of the CG in certain areas. When it comes to the ability to identify elements and processes within the system for instance, a statistically significant difference is given. Since no effects have been detected which would suggest a different explanation, the difference between the groups' improvements seems to be attributable to the properties that are commonly said to be associated with aerial and satellite imagery. However, this finding has to be taken carefully since there are indications that several confounding variables, which have not been surveyed, may have influenced both, the visual analysis and the concept mapping. Thus, the absolute effectiveness of the aerial and satellite imagery as well as of the topographic maps may be different from the one being concluded based on the empirical results of this study. Nevertheless, the methods being used as well as the findings of this study may be of practical relevance for teaching and learning in geography lessons and ESD.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung I
Abstract III
Abbildungsverzeichnis XI
Tabellenverzeichnis XIV
Anhangverzeichnis / Anlagen XVIII
Abkürzungsverzeichnis XX
1 Einleitung 1
2 Inhaltliche Rahmung und Stand der Forschung 4
2.1 Bildung für Nachhaltige Entwicklung 5
2.1.1 Nachhaltigkeit und Nachhaltige Entwicklung 5
2.1.2 Bildung als Antrieb für eine Nachhaltige Entwicklung 6
2.1.3 Systemisches Denken als ein zentrales Lernziel und Gestaltungsprinzip 7
2.1.3.1 Systemisches Denken als Lernziel und Gestaltungsprinzip der BNE 7
2.1.3.2 Die Relevanz systemischen Denkens im Geographieunterricht 12
2.1.4 Die Themen Rohstoffe und Energie als Lerninhalte der BNE und des Geographieunterrichts 13
2.1.4.1 Die Themen Rohstoffe und Energie als Lerninhalt der BNE 13
2.1.4.2 Die Relevanz der Themen Rohstoffe und Energie für den Geographieunterricht 15
2.1.4.3 Der Braunkohleabbau im Rheinischen Braunkohlerevier als Beispiel für eine Kombination der Themen Rohstoffe und Energie 17
2.1.5 Zusammenfassung und Fazit 25
2.2 Systemisches Denken 26
2.2.1 Systemkonzept 26
2.2.2 Konstrukt Systemisches Denken 28
2.2.3 Förderung systemischen Denkens 34
2.2.4 Externalisation systemischen Denkens 36
2.2.5 Zusammenfassung und Fazit 40
2.3 Concept Mapping 41
2.3.1 Repräsentation von Wissen im Gedächtnis 41
2.3.2 Concept Maps 45
2.3.2.1 Einsatz zur Wissensdiagnose: Faktor Aufgabenstellung und Antwortverfahren 49
2.3.2.2 Einsatz zur Wissensdiagnose: Faktor Auswertungsverfahren 51
2.3.2.3 Einsatz als graphisches Lernwerkzeug 57

2.3.3 Zusammenfassung und Fazit 58
2.4 Luft- und Satellitenbilder bzw. topographische Karten 60
2.4.1 Einsatz in der BNE und im Geographieunterricht 60
2.4.2 Luft- und Satellitenbilder 64
2.4.2.1 Wesen und Eigenschaften 64
2.4.2.2 Visuelle Auswertung 67
2.4.3 Topographische Karten 76
2.4.3.1 Wesen und Eigenschaften 76
2.4.3.2 Visuelle Auswertung 78
2.4.4 Die Sicht der Bildwissenschaft und Kognitionspsychologie 84
2.4.4.1 Wesen, Eigenschaften und Kategorien von Bildern 84
2.4.4.2 Kognitive Verarbeitung von Bildern und Text-Bild-Kombinationen 86
2.4.5 Zusammenfassung und Fazit 98
3 Ableitung der Forschungsfragen/-hypothesen 100
3.1 Synthese 1: Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE im Kontext des Systems Braunkohleabbau 100
3.2 Synthese 2: Möglichkeit zum Rückschluss auf die Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE mittels Concept Mapping 104
3.3 Synthese 3: Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 107
3.3.1 Anwendung der Fähigkeiten bei der Luft- und Satellitenbildauswertung 113
3.3.2 Die Anwendung der Fähigkeiten bei der Luft- und Satellitenbildauswertung im unmittelbaren Verhältnis zur Anwendung bei der Auswertung von topographischen Karten 115
4 Forschungsmethodischer Ansatz 132
4.1 Pilotierung und Anpassung des Forschungsdesigns 137
4.2 Potenzielle Störvariablen der Untersuchung 138
4.2.1 Erhobene personale Störvariablen (Kontrollvariablen) 139
4.2.2 Nicht erhobene externale Störvariablen 140
4.2.3 Nicht erhobene untersuchungsbedingte Störeinflüsse 142
4.3 Erhebungsinstrumente und deren Einsatz 144
4.3.1 Concept Maps als Erhebungsinstrument für den Gegenstand empirischer Erhebung 144
4.3.1.1 Konstruktion der CM_{vorw} vor der Intervention 146
4.3.1.2 Modifikation der CM_{vorw} während der Intervention 146
4.3.2 Fragebögen zur Erhebung der KVs 148

4.3.2.1 Fragebogen A: Dispositionale Ausprägung 149
4.3.2.2 Fragebogen B: Situationale Ausprägung der CM_{vorw}-Konstruktion 150
4.3.2.3 Fragebogen C: Situationale Ausprägung der visuellen Auswertung und CM_{vorw}-Modifikation 151
4.4 Inhaltliche, methodische und didaktische Gestaltung der Interventionseinheit 152
4.4.1 Ablauf der Interventionseinheit und Einbettung der Erhebungsinstrumente 152
4.4.1.1 Einstieg und Fragebogen A 153
4.4.1.2 Methodentraining Nachhaltigkeitsdimensionen 153
4.4.1.3 Methodentraining Concept Mapping 153
4.4.1.4 Vorwissensbasiertes Concept Mapping und Fragebogen B 154
4.4.1.5 Methodentraining Arbeitsmedium 154
4.4.1.6 Intervention: Visuelle Auswertung, CM_{vorw}-Modifikation und Fragebogen C 155
4.4.1.7 Abschlussdiskussion 155
4.4.2 Materialien 156
4.4.2.1 Luft- und Satellitenbilder 156
4.4.2.2 Topographische Karten 157
4.4.2.3 Arbeitsblätter 157
4.5 Auswertungsmethodik für das Erhebungsinstrument Concept Map 158
4.5.1 Auswertung der Inhalte (Konzepte) und gebildete Auswertungsgrößen 165
4.5.2 Auswertung der Mikrostruktur (Sinneinheiten) und gebildete Auswertungsgrößen 166
4.5.3 Auswertung der Makrostruktur und gebildete Auswertungsgrößen 170
4.5.4 Dezidierter Rückschluss auf die einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens und das Systemmodell als Ganzes 172
4.5.4.1 Rückschluss auf die Identifikation von Systemelementen 172
4.5.4.2 Rückschluss auf die Identifikation von Beziehungen zwischen den Systemelementen 172
4.5.4.3 Rückschluss auf die Identifikation von Systemprozessen 173
4.5.4.4 Rückschluss auf die Identifikation der inneren Systemstruktur 173
4.5.4.5 Rückschluss auf die Fähigkeit zur Identifikation der Systemgrenze 174
4.5.4.6 Grad der Übereinstimmung mit dem Referenznetz 176
4.6 Stichprobengewinnung 177
5 Robuste statistische Auswertung 178
5.1 Statistisch notwendige Reduktion der Anzahl an Auswertungsgrößen 183
5.2 Robuste Auswertung der CM-Daten 186
5.2.1 Robuster Interrater-Vergleich 186

5.2.2 Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_0 und t_1 ... 187
5.2.3 Robuster Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels *D* ... 188
5.2.4 Robuste Auswertung der Entwicklung der UG und der VG von t_0 zu t_1 ... 192
5.3 Robuste Auswertung der Fragebogendaten ... 193
5.3.1 Robuste Kennwerte und Hypothesentests bei den nominalen bzw. ordinalen Items ... 194
5.3.2 Robuste Kennwerte und Hypothesentests bei den metrischen Items und Skalenindices 195
5.4 Robuste Bestimmung des moderierenden Einflusses von KVs ... 196
6 Ergebnisse der robusten Auswertung ... 201
6.1 Ergebnisse zum Concept Mapping ... 201
6.1.1 Interrater-Vergleich ... 201
6.1.2 Ergebnisse des Concept Mapping ... 205
6.1.2.1 Robuste Kennwerte zu t_0 und t_1 ... 205
6.1.2.2 Gruppenvergleich zu t_0 (CM_{vorw}) ... 209
6.1.2.3 Entwicklung der UG von t_0 zu t_1 ... 218
6.1.2.4 Entwicklung der VG von t_0 zu t_1 ... 225
6.1.2.5 Entwicklung der UG im Verhältnis zur VG ... 232
6.1.2.6 Gruppenvergleich zu t_1 (CM_{mod}) ... 241
6.2 Ergebnisse zu den Fragebögen ... 250
6.2.1 Fragebogen A: Grunddaten und dispositionale Ausprägung ... 250
6.2.1.1 Grunddaten der Proband/innen ... 250
6.2.1.2 Vorerfahrung und Selbstwirksamkeit Computerumgang ... 252
6.2.1.3 Vorwissen Thema Braunkohleabbau und Nachhaltigkeit ... 253
6.2.1.4 Nutzungshäufigkeit und Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit ... 253
6.2.1.5 Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping ... 255
6.2.2 Fragebogen B: Feedback zur CM_{vorw}-Konstruktion (situationale Ausprägung) ... 255
6.2.2.1 Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion ... 255
6.2.2.2 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Konstruktion ... 256
6.2.2.3 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Konstruktion ... 257
6.2.2.4 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Konstruktion ... 258
6.2.3 Fragebogen C: Feedback zur visuellen Auswertung und zur CM_{vorw}-Modifikation (situationale Ausprägung) ... 258
6.2.3.1 Intrinsische Motivation bei der visuellen Auswertung ... 258
6.2.3.2 Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung ... 260
6.2.3.3 Nützlichkeit der visuellen Auswertung ... 261

6.2.3.4 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation 261
6.2.3.5 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation 262
6.2.3.6 Interessantheit der CM_{vorw}-Modifikation 263
6.2.3.7 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation 264
6.3 Ergebnisse zum moderierenden Einfluss von KVs 264
6.3.1 Bestimmung des Einflusses der Störvariable Schulklasse 264
6.3.2 KVs in Fragebogen A 267
6.3.2.1 Grunddaten der Proband/innen 267
6.3.2.2 Vorerfahrung und Selbstwirksamkeit Computerumgang 269
6.3.2.3 Vorwissen Thema Braunkohleabbau 271
6.3.2.4 Nutzungshäufigkeit und Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein 271
6.3.2.5 Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping 271
6.3.3 KVs in Fragebogen C 272
6.3.3.1 Intrinsische Motivation bei der visuellen Auswertung 272
6.3.3.2 Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung 275
6.3.3.3 Nützlichkeit der visuellen Auswertung 276
6.3.3.4 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation 276
6.3.3.5 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation 278
6.3.3.6 Interessantheit der CM_{vorw}-Modifikation 280
6.3.3.7 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation 281
7 Diskussion der Ergebnisse 282
7.1 Diskussion der CM-Ergebnisse und Beantwortung von H_1 und Forschungsfrage 1 282
7.2 Diskussion der CM-Ergebnisse und Beantwortung von H_2 und Forschungsfrage 2 284
7.3 Diskussion der Fragebogenergebnisse und Beantwortung von Forschungsfrage 3 291
7.3.1 Diskussion der KVs in Fragebogen A und aufgedeckte Effekte 294
7.3.2 Diskussion der KVs in Fragebogen B 299
7.3.3 Diskussion der KVs in Fragebogen C und aufgedeckte Effekte 303
7.4 Kritische Würdigung 311
7.4.1 Kritische Würdigung des Forschungsdesigns und der Stichprobengewinnung 311
7.4.2 Kritische Würdigung der Gestaltung der Interventionseinheit 312
7.4.3 Kritische Würdigung des Erhebungsinstruments Concept Map 316
7.4.4 Kritische Würdigung der robusten statistischen Auswertung 318
8 Fazit und Ausblick 320
8.1 Schlussfolgerungen für die schulische (BNE-)Praxis 325

8.2 Implikationen für die weitere Forschung 326
Literaturverzeichnis 329

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systemisches Denken als ein Lernziel der BNE (eigene Darstellung) 11

Abbildung 2: Schema eines rheinischen Braunkohletagebaus (DEBRIV 2015) 18

Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Systems mit verschiedenen Hierarchieebenen (eigene Darstellung nach Bossel 2004, Sommer 2005, Hildebrandt 2006 und Bräutigam 2014) 27

Abbildung 4: Schematische Darstellung eines semantischen Netzwerks (Hoffmann & Engelkamp 2013) 42

Abbildung 5: Schematische Darstellung eines propositionalen Netzwerks (Anderson 2007) 43

Abbildung 6: Schematische Darstellung einer uni- bzw. bidirektionalen Proposition (eigene Darstellung nach Jahn et al. 2015) 45

Abbildung 7: Gegenüberstellung von hierarchischer und netzwerkartiger CM (Jahn et al. 2015) 47

Abbildung 8: Ebenen und Phasen der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (eigene Darstellung) 69

Abbildung 9: Kompetenzstrukturmodell zur Kartenauswertung (Hemmer et al. 2010) 79

Abbildung 10: Kontinuum verschiedener Bildkategorien (eigene Darstellung) 85

Abbildung 11: An der kognitiven Verarbeitung von Bildern beteiligte Rezeptionsprozesse und Bildverstehensmodi (Weidenmann 1994) 86

Abbildung 12: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Repovš & Baddeley (2006) 90

Abbildung 13: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Hoffmann & Engelkamp (2013) 91

Abbildung 14: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Mayer (2009) 93

Abbildung 15: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Schnotz (2002) 94

Abbildung 16: Schematische Darstellung der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Verankerung eines Systems (eigene Darstellung nach Bräutigam 2014) 100

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Erschließung von Primär- bis Tertiärinformationen bei der visuellen Auswertung (eigene Darstellung) 108

Abbildung 18: Entwicklung des zeitlichen Systemverständnisses (eigene Darstellung) 111

Abbildung 19: Schematische Darstellung der untersuchten Wirkung der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (UV) auf die Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE (AV) (eigene Darstellung) 133

Abbildung 20: Forschungsdesign der Untersuchung (eigene Darstellung nach Jahn et al. 2015) 134

Abbildung 21: Verortung der potenziellen Einwirkung von personalen und externalen Moderator- und Externalisationsvariablen (eigene Darstellung) 138

Abbildung 22: Schritte der CM-Auswertung (eigene Darstellung) 160

Abbildung 23: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Auswertungsgrößen (eigene Darstellung) 165

Abbildung 24: Bewertungsschema für Sinneinheiten (eigene Darstellung) 167

Abbildung 25: Verlauf der Systemgrenze einer CM (eigene Darstellung) 175

Abbildung 26: Für die (Ko-)Varianzanalysen relevante KVs in Fragebogen A und C (eigene Darstellung) 196

Abbildung 27: Prozentualer Anteil bestimmter Abweichungsgrade bei der CM-Auswertung der beiden Rater (UG) 202

Abbildung 28: Prozentualer Anteil bestimmter Abweichungsgrade bei der CM-Auswertung der beiden Rater (VG) 203

Abbildung 29: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ zu t_0 213

Abbildung 30: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ zu t_0 214

Abbildung 31: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_{vorw}$ und CM-GU$_{vorw}$ zu t_0 215

Abbildung 32: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS$_{vorw}$ und CM-SP$_{vorw}$ zu t_0 216

Abbildung 33: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI$_{vorw}$ und CM-KPG$_{vorw}$ zu t_0 217

Abbildung 34: Zeitvergleich der Dezile des K-Wert$_{ELE}$ und K-Wert$_{PRO}$ für die UG 221

Abbildung 35: Zeitvergleich der Dezile des S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ für die UG 222

Abbildung 36: Zeitvergleich der Dezile des CM-SRG und CM-GU für die UG 223

Abbildung 37: Zeitvergleich der Dezile des CM-TS und CM-SP für die UG 224

Abbildung 38: Zeitvergleich der Dezile des CM-VNI und CM-KPG für die UG 225

Abbildung 39: Zeitvergleich der Dezile des K-Wert$_{ELE}$ und K-Wert$_{PRO}$ für die VG 228

Abbildung 40: Zeitvergleich der Dezile des S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ für die VG 229

Abbildung 41: Zeitvergleich der Dezile des CM-SRG und CM-GU für die VG 230

Abbildung 42: Zeitvergleich der Dezile des CM-TS und CM-SP für die VG 231

Abbildung 43: Zeitvergleich der Dezile des CM-VNI und CM-KPG für die VG 232

Abbildung 44: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ bei *D* 236

Abbildung 45: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ bei *D* 237

Abbildung 46: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_D$ und CM-GU$_D$ bei *D* 238

Abbildung 47: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS$_D$ und CM-SP$_D$ bei *D* 239

Abbildung 48: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI$_D$ und CM-KPG$_D$ bei *D* 240

Abbildung 49: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ zu t_1 245

Abbildung 50: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ zu t_1 246

Abbildung 51: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_{mod}$ und CM-GU$_{mod}$ zu t_1 247

Abbildung 52: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS_{mod} und CM-SP_{mod} zu t_1 248

Abbildung 53: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI_{mod} und CM-KPG_{mod} zu t_1..... 249

Abbildung 54: Diagramme zur Interaktion der ANOVA-Faktoren Testgruppe und »Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache« beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$..... 267

Abbildung 55: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Alter..... 269

Abbildung 56: Diagramme zur Interaktion der ANOVA-Faktoren Testgruppe und »Vorerfahrung im Computerumgang« beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$..... 270

Abbildung 57: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Selbstwirksamkeit Computerumgang«..... 271

Abbildung 58: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Interesse/Vergnügen«..... 272

Abbildung 59: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Anstrengung/Wichtigkeit«..... 273

Abbildung 60: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Wahrgenommene Kompetenz«..... 274

Abbildung 61: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung«..... 275

Abbildung 62: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei der CM_{vorw}..... 285

Abbildung 63: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei *D*..... 287

Abbildung 64: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei der CM_{mod}..... 290

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Bezugsdimensionen für systemisches Denken in der BNE 11

Tabelle 2: Selektionskriterien für Lerninhalte in der BNE in Deutschland 14

Tabelle 3: Inhaltlicher Bezug des Braunkohleabbaus zu den drei Bezugsdimensionen für Lerninhalte 23

Tabelle 4: Der Braunkohleabbau im Lichte der Auswahlkriterien für die Selektion von Lerninhalten. 24

Tabelle 5: Ausgewiesene Inhalte von systemischem Denken bzw. Systemkompetenz 31

Tabelle 6: Zentrale Inhalte von systemischem Denken bzw. Systemkompetenz 33

Tabelle 7: CM-Differenzen zwischen Expert/innen und Noviz/innen nach Kinchin (2000) 51

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Vorgehensweisen bei der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern in der Fernerkundung(-sdidaktik) 70

Tabelle 9: Mit Blick auf das System Braunkohleabbau relevante Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE 103

Tabelle 10: Einflussvariablen auf systemisches Denkens in der BNE 103

Tabelle 11: Möglichkeiten zur Repräsentation von Systemwissen in einer CM 106

Tabelle 12: Variablen der Repräsentation von Systemwissen in einer CM 107

Tabelle 13: Möglichkeiten zur Systemidentifikation in allen drei Bezugsdimensionen bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 109

Tabelle 14: Pfade der kognitiven Aneignung bzw. Generierung von Informationen über das System Braunkohleabbau mittels Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 110

Tabelle 15: Möglichkeiten zur Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 112

Tabelle 16: Vergleichende Gegenüberstellung der Spezifika von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 118

Tabelle 17: Annahmen über den Ablauf und das Ergebnis der kognitiven Verarbeitung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten gemäß den vorgestellten Theorien und Modellen 122

Tabelle 18: Variablen der visuellen Auswertung piktoraler Informationsträger 124

Tabelle 19: Erhobene Störvariablen der Untersuchung 139

Tabelle 20: Externale Störvariablen der Untersuchung und ihre Berücksichtigung 140

Tabelle 21: Untersuchungsbedingte Störeinflüsse und ihre Berücksichtigung 142

Tabelle 22: Erläuterung zu den Zielsetzungen der Aufgaben auf den Arbeitsblättern 158

Tabelle 23: Nach der Art der Wissenskomponente aufgeteilte CM-Parameter als Indikatoren für die Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE 159

Tabelle 24: Kategorien von Repräsentationsmustern unterschiedlicher Komplexität samt Multiplikationsfaktor für die Anzahl der beteiligten gewerteten Konzepte bzw. Sinneinheiten 171

Tabelle 25: Betrachtung der für die Systemelemente relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung 172

Tabelle 26: Betrachtung der für die Beziehungen zwischen den Systemelementen relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung 172

Tabelle 27: Betrachtung der für die Systemprozesse relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung 173

Tabelle 28: Betrachtung der für die Systemstruktur relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung 173

Tabelle 29: Interpretation der möglichen Art der Veränderung der Systemgrenze 175

Tabelle 30: Interpretation der möglichen Art der Veränderung des Korrespondenzgrades 176

Tabelle 31: Teilnehmende Proband/innen der Haupterhebung 177

Tabelle 32: Bivariate Korrelationen zwischen den Auswertungsgrößen bei CM_{vorw} (nicht kursiv) und CM_{mod} (kursiv) 184

Tabelle 33: Bivariate Korrelationen zwischen den verbleibenden Auswertungsgrößen bei CM_{vorw} und CM_{mod} 186

Tabelle 34: Kennwerte der Ausprägung der Auswertungsgrößen in den Gruppen zu t_0 und t_1 188

Tabelle 35: Hypothesentests für den Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels *D* 189

Tabelle 36: Effektstärkemaße für den Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels *D* 191

Tabelle 37: Hypothesentests für den Zeitvergleich von t_0 zu t_1 bei der UG und bei der VG 192

Tabelle 38: Effektstärkemaße für die Zeitvergleiche von t_0 zu t_1 bei der UG und bei der VG 193

Tabelle 39: Kennwerte und Hypothesentests bei nominalen bzw. ordinalen Einzelitems 194

Tabelle 40: Hypothesentests bei metrischen Items und Skalenindices 195

Tabelle 41: Varianzanalytische Bestimmung des Einflusses nominaler bzw. ordinaler KVs 197

Tabelle 42: Kovarianzanalytische Bestimmung des Einflusses metrischer KVs und Skalenindices 198

Tabelle 43: Effektstärkemaße für den moderierenden Einfluss nominaler und ordinaler KVs 200

Tabelle 44: Interrater Agreement und Interrater Reliabilität der CM-Auswertungen 204

Tabelle 45: Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_0 für beide Testgruppen 205

Tabelle 46: Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_1 für beide Testgruppen 207

Tabelle 47: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich zu t_0 209

Tabelle 48: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Gruppenvergleich zu t_0 210

Tabelle 49: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs zu t_0 211

Tabelle 50: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Zeitvergleich bei der UG 218

Tabelle 51: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Zeitvergleich bei der UG 219
Tabelle 52: Effektstärken des univariaten Zeitvergleichs bei der UG 220
Tabelle 53: *p*-Werte und M_{γ}-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Zeitvergleich bei der VG .. 226
Tabelle 54: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Zeitvergleich bei der VG..... 227
Tabelle 55: Effektstärken des univariaten Zeitvergleichs bei der VG..... 227
Tabelle 56: *p*-Werte und M_{γ}-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich mittels *D* 233
Tabelle 57: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den univariaten Gruppenvergleich 234
Tabelle 58: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs mittels *D* 234
Tabelle 59: *p*-Werte und M_{γ}-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich zu t_1.... 242
Tabelle 60: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Gruppenvergleich zu t_1 243
Tabelle 61: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs zu t_1 243
Tabelle 62: Ergebnisse zu den nominalen KVs 251
Tabelle 63: Ergebnisse zu den ordinalen KVs 251
Tabelle 64: Ergebnisse zur metrischen KV Alter..... 252
Tabelle 65: Ergebnisse zur Vorerfahrung im Computerumgang und Dauer der täglichen Nutzung .. 252
Tabelle 66: Ergebnisse zur Selbstwirksamkeit Computerumgang 253
Tabelle 67: Ergebnisse zum Vorwissen Thema Braunkohleabbau und Nachhaltigkeit 253
Tabelle 68: Ergebnisse zur Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten 254
Tabelle 69: Ergebnisse zur Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein..... 255
Tabelle 70: Ergebnisse zur Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping..... 255
Tabelle 71: Ergebnisse zur Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion 256
Tabelle 72: Ergebnisse zu Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Konstruktion 257
Tabelle 73: Ergebnisse zur Nützlichkeit der CM_{vorw}-Konstruktion..... 258
Tabelle 74: Ergebnisse zur Angemessenheit des Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Konstruktion 258
Tabelle 75: Ergebnisse zum Interesse/Vergnügen an der visuellen Auswertung 259
Tabelle 76: Ergebnisse zur Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung 259
Tabelle 77: Ergebnisse zur wahrgenommenen Kompetenz bei der visuellen Auswertung..... 260
Tabelle 78: Ergebnisse zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung (umgepolt)..... 260
Tabelle 79: Ergebnisse zur Nützlichkeit der visuellen Auswertung..... 261
Tabelle 80: Ergebnisse zur Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation..... 262
Tabelle 81: Ergebnisse zu Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation..... 262
Tabelle 82: Ergebnisse zur Interessantheit der CM_{vorw}-Modifikation 263

Tabelle 83: Ergebnisse zur Angemessenheit des Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation 264

Tabelle 84: *p*-Werte der Kontraste der Klassen in der UG für die Auswertungsgrößen in der CM_{vorw} 265

Tabelle 85: *p*-Werte der Kontraste der Klassen in der VG für die Auswertungsgrößen in der CM_{vorw} 266

Tabelle 86: Prozentuale Veränderungen der Auswertungsgrößen von t_0 zu t_1 in den Testgruppen .. 286

Tabelle 87: Effekte mit differenzierter Wirkung zwischen den Testgruppen 292

Tabelle 88: Effekte mit differenzierter Wirkung zwischen den Antwortkategorien 293

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Darstellung des ursprünglich gewählten Forschungsdesigns und seiner Weiterentwicklung im Rahmen der Pilotierung 365

Anhang 2: Fragebogen A – Erhebung der dispositionalen Ausprägung von KVs 368

Anhang 3: Fragebogen B – Erhebung der situationalen Ausprägung der CM_{vorw}-Konstruktion 373

Anhang 4: Fragebogen C – Erhebung der situationalen Ausprägung der visuellen Auswertung und CM_{vorw}-Modifikation 374

Anhang 5: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Einstieg und Beantwortung von Fragebogen A 376

Anhang 6: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Nachhaltigkeit 377

Anhang 7: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Concept Mapping 379

Anhang 8: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Vorwissensbasiertes Concept Mapping und Beantwortung von Fragebogen B 380

Anhang 9: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Arbeitsmedium 381

Anhang 10: Impressionen der visuellen Auswertung in ArcMap 10 384

Anhang 11: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Auswertung des Arbeitsmediums, CM_{vorw}-Modifikation und Beantwortung von Fragebogen C 386

Anhang 12: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Abschlussdiskussion 390

Anhang 13: Ausschnitt des Tagebaus Inden aus dem Luftbild im Maßstab 1 : 5.000 (Jahr 2007) 391

Anhang 14: Satellitenbild (Echtfarbenbild) des Rheinischen Braunkohlereviers (Jahr 1984) 392

Anhang 15: Satellitenbild (Echtfarbenbild) des Rheinischen Braunkohlereviers (Jahr 2010) 393

Anhang 16: Ausschnitt des Tagebaus Inden aus der DGK 5 samt Legende (Jahr 2007) 394

Anhang 17: Ausschnitt des Rheinischen Braunkohlereviers aus der TK 100 samt Legende (Jahr 1983) 396

Anhang 18: Ausschnitt des Rheinischen Braunkohlereviers aus der TK 100 samt Legende (Jahr 2011) 398

Anhang 19: Arbeitsblätter »Der Braunkohleabbau« 400

Anhang 20: Referenznetz zum Braunkohleabbau 403

Anhang 21: Um systemrelevante Inhalte/Strukturen aus den CMs der Proband/innen ergänztes Referenznetz zum Braunkohleabbau (mit vergebenen Punkten) 404

Anhang 22: Entwickelte Exceldatei für die CM-Auswertung 406

Anhang 23: Beispiele für ausgewertete CMs 407

Anhang 24: Durch die beiden Rater identifizierter Charakter der Konzepte und Sinneinheiten im Referenznetz 411

Anlagen auf beiliegender CD

Anlage 1: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Computerumgang

Anlage 2: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein

Anlage 3: Deskriptive Statistik zur Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion

Anlage 4: Deskriptive Statistik zum Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung

Anlage 5: Deskriptive Statistik zur Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung

Anlage 6: Deskriptive Statistik zur wahrgenommenen Kompetenz bei der visuellen Auswertung

Anlage 7: Deskriptive Statistik zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung

Anlage 8: Ergebnisse der Untersuchung zum potenziellen Einfluss der Störvariable Klasse

Anlage 9: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA

Anlage 10: Ergebnisse der einfaktoriellen ANCOVA

Abkürzungsverzeichnis

BNE = Bildung für Nachhaltige Entwicklung
bzw. = beziehungsweise
ca. = circa
CM = Concept Map
CO_2 = Kohlenstoffdioxid
d.h. = das heißt
eMD = einfache Mittelwertdifferenz
$eM_\gamma D$ = einfache Differenz der getrimmten Mittelwerte
etc. = et cetera (im Sinne von »und so weiter«)
ggf. = gegebenenfalls
H_0 = Nullhypothese
H_1 = Alternativhypothese
i.d.R. = in der Regel
km = Kilometer
km^2 = Quadratkilometer
kWh = Kilowattstunde
m = Meter
m^3 = Kubikmeter
M = ungetrimmter Mittelwert
M_γ = getrimmter Mittelwert
MAD = median absolute deviation
Mio. = Millionen
MOM = modified one-step M-estimator
Mrd. = Milliarden
NE = Nachhaltige Entwicklung
o.g. = oben genannt(e/n)
SD = Standardabweichung (standard deviation)
SE = Standardfehler (standard error)
t = Tonne
u.a. = unter anderem
u.U. = unter Umständen
VAR = Varianz
v.a. = vor allem
vs. = versus (im Sinne von »gegen[über]« oder »im Gegensatz zu«)
w = Winsorisierungsgrad
z.B. = zum Beispiel
z.T. = zum Teil
α = Alpha (Signifikanzniveau bzw. Irrtumswahrscheinlichkeit)
β = Beta (Wahrscheinlichkeit für Fehler 2. Art)
ρ = Rho
γ = Trimmungsgrad
95%-KI = 95%-Konfidenzintervall

1 Einleitung

> *„In the middle of the 20th century, we saw our planet from space for the first time. Historians may eventually find that this vision had a greater impact on thought than did the Copernican revolution of the 16th century* […]. *From space, we see a small and fragile ball dominated not by human activity and edifice but by a pattern of clouds, oceans, greenery, and soils. Humanity's inability to fit its activities into that pattern is changing planetary systems, fundamentally. Many such changes are accompanied by life-threatening hazards. This new reality, from which there is no escape, must be recognized - and managed*."
> (United Nations 1987, 1. Absatz)

In ihrem epochalen Bericht *Our Common Future* stellt die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen die u.a. anhand von Fernerkundungsdaten gewonnenen Erkenntnisse über die schwerwiegenden und für zukünftige Generationen noch folgenreichen Konsequenzen der menschlichen Überbeanspruchung der natürlichen Lebensgrundlagen auf der Erde dar. Durch die expansive Entwicklung der Weltbevölkerung und Weltwirtschaft sind in der jüngeren Vergangenheit globale Veränderungen in Gang gesetzt worden, die u.a. zu Umweltverschmutzung, Naturzerstörung, Übernutzung nicht erneuerbarer Rohstoffe, sozioökonomischen Disparitäten und kulturell-religiösen Konflikten geführt haben. Vor dem Hintergrund der begrenzten Tragfähigkeit und Belastbarkeit von Natur und Umwelt sind die natürlichen Lebensgrundlagen, auch für zukünftige Generationen, in zunehmendem Maße bedroht. In dem als *Brundtland-Bericht* bekannt gewordenen Dokument stellt die Weltkommission als Antwort auf die bereits bestehenden und für die Zukunft abzusehenden Probleme eine langfristig tragfähige, zukunftsweisende Perspektive vor, die die globale ökonomische und gesellschaftliche Fortentwicklung mit der essentiellen Notwendigkeit zum Schutz und Erhalt von Natur und Umwelt zu vereinbaren sucht. In ihrem Kern steht das Prinzip der Nachhaltigkeit.

Um das Ziel der Nachhaltigkeit zu verwirklichen, ist eine Abkehr von den bisherigen nicht nachhaltigen Handlungs-/Verhaltensweisen und den daraus hervorgehenden nicht nachhaltigen Entwicklungen notwendig, die zunächst als solche selbst zu identifizieren sind. Während dies bei sehr einfachen Gegenstandsbereichen ohne größere Kenntnisse und Befähigungen vergleichsweise leicht bzw. intuitiv möglich ist, sind andere durch eine derart hohe Komplexität und Dynamik gekennzeichnet, dass für ihr Verständnis und die darauf aufbauende Bewertung im Hinblick auf die Vereinbarkeit mit dem Ziel einer Nachhaltigen Entwicklung (NE) eine tiefgreifende und umfassende Analyse aller beteiligten Aspekte und Komponenten in unterschiedlichen Dimensionen erforderlich ist. Voraussetzung für diese oftmals äußerst anspruchsvolle kognitive Leistung sind besondere kognitive Fähigkeiten, die die Wahrnehmung der Wirklichkeit bzw. ihrer Teilbereiche als System ermöglichen, sie in einem mentalen Systemmodell abbilden und mit einem daran beteiligten Systemwissen einhergehen, das sich auf verschiedene Art und Weise, z.B. graphisch-verbal in Concept Maps, darstellen lässt. Das bei der Anwendung dieser Fähigkeiten erfolgende systemische Denken ist im Rahmen der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) derart essentiell, dass seine schulische Förderung bildungspolitisch gefordert wird und bereits Eingang in Curricula und die fachdidaktische Forschung gefunden hat. Im Rahmen der bestehenden Mittel und Möglichkeiten stehen für die Förderung im Schulunterricht allgemein

verschiedene Methoden und Medien zur Verfügung, über die jeweils ein spezifischer Beitrag geleistet werden kann. Im explizit auf die BNE ausgerichteten Geographieunterricht erfolgt die traditionell durchgeführte Arbeit mit Karten, darunter auch mit topographischen Karten, gemäß der Ausrichtung des Faches unter systemtheoretischen Gesichtspunkten und unterstützt den Aufbau eines adäquaten Raumverständnisses. Die gleiche Funktion und Wirkung wird der in jüngerer Zeit hinzugekommenen Arbeit mit Fernerkundungsprodukten wie Luft- und Satellitenbildern zugesprochen, die als Explorationswerkzeug eigene Vorteile für die Raumerkundung mit sich bringen.

Fernerkundungsdaten finden in den Geowissenschaften und in zahlreichen Berufsfeldern bereits seit längerer Zeit Verwendung als wertvolle Informationsbasis für das grundsätzliche Verständnis der langfristigen, globalen Phänomene, Abläufe und Veränderungen auf der Erde[1] und der im System Erde vorkommenden vielfältigen Interaktionen[2]. Im Rahmen des *Copernicus-Programms* der European Space Agency (ESA) könnte in absehbarer Zeit das Verständnis für diese Aspekte und Zusammenhänge durch die wachsende Verfügbarkeit von kostenfreien, hochaktuellen und hochaufgelösten weltweiten Satellitendaten (Aschbacher & Milagro-Pérez 2012) auch in der breiteren Öffentlichkeit weiter zunehmen. Hieraus könnten sich Potenziale für die BNE im Schulunterricht ergeben: Aufgrund der inhaltlichen Ausrichtung des Copernicus-Programms auf die Detektion einer großen Spannweite an thematisch unterschiedlichen Erdbeobachtungsdaten[3] könnten Fernerkundungsprodukte in Form von Luft- und Satellitenbildern – wie im Eingangszitat der Weltkommission geschildert – möglicherweise zu der zunächst notwendigen systemischen Erschließung von komplexeren Gegenstandsbereichen im Unterricht beitragen, die dann bezüglich ihrer Vereinbarkeit mit dem Nachhaltigkeitsgedanken bewertet werden. Mit dieser potenziellen Wirkung der Fernerkundung und ihrer bildlichen Produkte könnte sich eine Möglichkeit für ihre stärkere Einbindung in die schulische BNE und hier insbesondere in den Geographieunterricht eröffnen. Aktuell ist der Einsatz von Luft- und v.a. Satellitenbildern, z.B. in Google Earth bzw. Google Maps, trotz Schülerinteresses häufig unterrepräsentiert und erfolgt vielfach als rein visuelles Begleitmedium. Ihr Einsatz für eine tiefgreifende systemische Erkundung von Erdräumen erfolgt vergleichsweise selten und schöpft i.d.R. nicht das vorhandene Potenzial voll aus. Dabei weisen sie inhärente Eigenschaften auf, die für den Aufbau einer adäquaten mentalen Raumvorstellung vorteilhaft sind und ihre gezielte Nutzung als Werkzeug für die systemanalytische Raumerschließung auch im Rahmen komplexer Nachhaltigkeitsthemen nahelegen. Andeutungen über die generellen Einsatzmöglichkeiten und bereits erste konkrete Umsetzungsbeispiele, die in ihnen enthaltene Informationsvielfalt im Rahmen der Nachhaltigkeitsthematik bzw. für die Untersuchung von nicht nachhaltigen Entwicklungen zu nutzen, bestehen bereits. Woran es aktuell insbesondere mangelt sind empirisch fundierte Erkenntnisse über die diesbezügliche Wirksamkeit von Luft- und Satellitenbildern, die ihren verstärkten Einsatz als lernförderliches Medium in der BNE (siehe hierzu die Forderung in DGfE 2004; Rieß 2006: 26) bzw. im nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht in dieser Hinsicht rechtfertigen können.

[1] Ein diesbezügliches Beispiel ist die von der National Aeronautics and Space Administration (NASA) erstellte und auf der NASA-Homepage frei zugängliche Animation *Earth: Our Living Planet* (https://svs.gsfc.nasa.gov/4597 [zuletzt geprüft am 05.10.2018]), die aus der 20-jährigen satellitengestützten Beobachtung der globalen Biosphäre hervorgeht.

[2] Einen besonders eindrucksvollen Überblick über die essentielle Bedeutung der Fernerkundung als Ausgangspunkt für das Verständnis der weltweiten Interaktionen bietet die TV-Dokumentation *Earth From Space* aus dem Jahr 2013 als Teil der populärwissenschaftlichen TV-Serie *NOVA* der US-amerikanischen TV-Senderkette *Public Broadcasting Service*.

[3] „*Copernicus provides a unified system through which vast amounts of data are fed into a range of thematic information services designed to benefit the environment, the way we live, humanitarian needs and support effective policy-making for a more sustainable future*." (European Space Agency 2016).

Vor dem Hintergrund des skizzierten Forschungsdesiderats wird in dieser Arbeit beabsichtigt, die Wirksamkeit von digitalen Luft- und Satellitenbildern – im Gegensatz zur analogen Papierform – als Informationsgrundlage für die systemische Erschließung von Erdräumen und der in ihnen vorkommenden Sachverhalte im Nachhaltigkeitskontext explorativ zu untersuchen, um erste empirisch fundierte Einblicke diesbezüglich geben zu können. Obschon die Auseinandersetzung mit ihnen für alle Klassenstufen (in einem unterschiedlichen Maße) vorgesehen ist, konzentriert sich diese Arbeit auf ältere Schüler/innen im Bereich der gymnasialen Oberstufe (Kursstufe in Baden-Württemberg). Zudem wird aus der großen Fülle und Vielfalt an (geographischen) Gegenstandsbereichen und Erdräumen, die sich potenziell systemisch erschließen lassen, ein spezifisches, nachhaltigkeitsrelevantes Thema in einem bestimmten Erdraum fokussiert. Damit die Wirksamkeit als solche erfasst wird, stehen die verwendeten digitalen Luft- und Satellitenbilder als alleinige Informationsgrundlage für die systemische Raumerkundung im Mittelpunkt. Für eine bessere Einschätzung hinsichtlich der unterrichtlichen Bedeutsamkeit erscheint es hilfreich bzw. notwendig, diese mit der Wirksamkeit eines bereits unterrichtlich erprobten Mediums zu vergleichen. Angesichts der historisch gewachsenen unterrichtlichen Stellung und des äquivalenten Wesens von Karten wird die Wirksamkeit der verwendeten digitalen Luft- und Satellitenbilder der Wirksamkeit der eingesetzten digitalen Karten, konkret in Form von digitalen topographischen Karten, gegenübergestellt. Diesbezüglich zu beachten ist die potenziell unterschiedliche Vertrautheit von Kursstufenschüler/innen im Umgang mit beiden Medien, die zu einem verzerrten Bild führen kann und, zusammen mit weiteren potenziellen Störvariablen, bei der Untersuchung zu berücksichtigen ist.

Die explorative Erforschung der Wirksamkeit der digitalen Luft- und Satellitenbilder als Untersuchungsgegenstand auf der einen Seite und der Wirksamkeit der digitalen topographischen Karten als Vergleichsgegenstand auf der anderen Seite wird in dieser Arbeit als eine quasi-experimentelle Untersuchung mit zwei Testgruppen durchgeführt. Die weitestgehend selbstständige visuelle Erschließung des im vorgegebenen Erdraum existierenden Systems im Nachhaltigkeitskontext erfolgt im Zuge einer mehrstündigen Interventionseinheit, in die verschiedene Maßnahmen (Fragebögen und Methodentrainings) zur Kontrolle von vorab literaturbasiert identifizierten Störvariablen integriert worden sind. Gegenstand empirischer Erhebung ist das Systemwissen der Proband/innen im Bereich verschiedener Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE. Empirisch erhoben wird das Systemwissen im Rahmen einer innovativen forschungsmethodischen Herangehensweise, bei der eine Modifikation des Systemvorwissens vorgenommen wird. Konkretes Erhebungsinstrument sind Concept Maps, deren indikatorenbasierte Auswertung unter Einsatz einer Expertenmap und eines Interrater-Vergleichs erfolgt. Die statistische Auswertung der in dieser Arbeit erhobenen CM- und Fragebogendaten wird über die modernen Verfahren der robusten Statistik durchgeführt.

2 Inhaltliche Rahmung und Stand der Forschung

Die Untersuchung der Wirksamkeit von digitalen Luft- und Satellitenbildern als Informationsgrundlage für die systemische Erschließung eines Erdraums unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit berührt verschiedene Wissensdomänen und Forschungsfelder. Um ein umfassendes und tiefgreifendes Verständnis dafür zu erlangen, ob die visuelle Auswertung von digitalen Luft- und Satellitenbildern bzw. von topographischen Karten systemisches Denken in der BNE anregen und fördern kann, bedarf es einer ausführlichen Betrachtung der nachfolgenden Bereiche. Zunächst steht die BNE als übergeordneter Bezugsrahmen im Mittelpunkt: aus ihr wird in Kapitel 2.1 sowohl die allgemeine Relevanz von systemischem Denken als unterrichtliches Lernziel und Gestaltungsprinzip als auch die Thematik des Braunkohleabbaus und der Energiegewinnung aus Braunkohle als nachhaltigkeitsrelevanter Lerninhalt aus der Synthese der Themen Rohstoffe und Energie herausgearbeitet. Es folgt in Kapitel 2.2 eine nicht erschöpfende Betrachtung aktueller Arbeiten aus der Systemwissenschaft und dem Forschungsbereich zum systemischen Denken bzw. zur Systemkompetenz, um das Konstrukt an sich näher zu charakterisieren, seine grundsätzliche unterrichtliche Förderbarkeit und die darauf einwirkenden Einflussvariablen aufzuzeigen sowie die traditionellen methodischen Herangehensweisen an einen Zugriff darauf zum Zweck der wissenschaftlichen Untersuchung darzulegen. Aus der Vielfalt der eingesetzten Erhebungsinstrumente werden in Kapitel 2.3 Concept Maps hervorgehoben: Nach der Darstellung der kognitionswissenschaftlichen Erkenntnisse über die Art und Weise der Wissensrepräsentation im menschlichen Gedächtnis wird die Methode in ihrer grundsätzlich gedächtnisanalogen Funktionsweise dargelegt, es werden die darauf einflussnehmenden Variablen verdeutlicht und es wird die Spannweite der verschiedenen Varianten beleuchtet, Concept Maps zu konstruieren und wissenschaftlich auszuwerten, die mit jeweils eigenen Implikationen im Bereich Informationsgehalt und Güte verbunden sind. In Kapitel 2.4 werden schließlich Luft- und Satellitenbilder bzw. topographische Karten bezüglich ihres Einsatzes im Geographieunterricht vorgestellt, bevor die anschließend aus der Sicht der Fernerkundungs- bzw. Kartendidaktik sowie der Bildwissenschaft und Kognitionspsychologie in ihrem Wesen wie auch in ihren Eigenschaften und Wirkungen ergründet werden und der kognitive Prozess der Informationsgewinnung aus ihnen umfassend beleuchtet wird. Im Anschluss an die Veranschaulichung des aktuellen Forschungsstands zu den o.g. Aspekten erfolgt in Kapitel 3 die sukzessive Zusammenführung der verschiedenen Wissensdomänen und Forschungsfelder und schließlich die Ableitung und Formulierung von konkreten Forschungsfragen bzw. -hypothesen, für deren Beantwortung bzw. Überprüfung das in Kapitel 4 erläuterte forschungsmethodische Design zur Datenerhebung und die in Kapitel 5 vorgestellten robusten Auswertungsmethoden mit ihren spezifischen Stärken zum Einsatz kommen.

2.1 Bildung für Nachhaltige Entwicklung

> „*The goal of education is to make people wiser, more knowledgeable, better informed, ethical, responsible, critical and capable of continuing to learn. Were all people to possess such abilities and qualities, the world's problems would not be automatically solved, but the means and the will to address them would be at hand. Education also serves society by providing a critical reflection on the world, especially its failings and injustices, and by promoting greater consciousness and awareness, exploring new visions and concepts, and inventing new techniques and tools. Education is also the means for disseminating knowledge and developing skills, for bringing about desired changes in behaviours, values and lifestyles, and for promoting public support for the continuing and fundamental changes that will be required if humanity is to alter its course, leaving the familiar path that is leading towards growing difficulties and possible catastrophe, and starting the uphill climb towards sustainability. Education, in short, is humanity's best hope and most effective means in the quest to achieve sustainable development.*"
> (UNESCO 1997: 16)

Mit diesem funktionalen Verständnis des Bildungsbegriffs ist ein umfassender Katalog an nachhaltigkeitsrelevanten Lernzielen, -inhalten und Gestaltungsprinzipien für Lehr-Lern-Prozesse verbunden, der in Deutschland als BNE bildungspolitisch gefördert wird. Ziel ist es, Individuen (kollektiv) in die Lage zu versetzen, nachhaltig zu agieren. Im Anschluss an eine kurze Darstellung des leitenden Nachhaltigkeitsgedankens und des daraus hervorgehenden Ziels der Verwirklichung einer NE (Kapitel 2.1.1), die beide für die inhaltliche Gestaltung der BNE leitend sind (Kapitel 2.1.2), wird der zentrale Stellenwert der Befähigung zum systemischen Denken mit seinem unmittelbaren Bezug zu den Bildungszielen des Geographieunterrichts (Kapitel 2.1.3) aufgezeigt. Aus der Vielfalt potenziell nachhaltigkeitsrelevanter Lerninhalte werden in Kapitel 2.1.4 die auch für den Geographieunterricht bedeutsamen Themen Rohstoffe und Energie herausgearbeitet, aus deren Schnittmenge die Thematik des Braunkohleabbaus hervorgeht. Den Abschluss des Kapitels bilden Zusammenfassung und Fazit (Kapitel 2.1.5).

2.1.1 Nachhaltigkeit und Nachhaltige Entwicklung

Das in *Our Common Future* erstmalig ausformulierte Prinzip der Nachhaltigkeit und des darauf aufbauenden Konzepts einer NE zielt darauf ab, die (ökologischen) Auswirkungen einer weltweit sozial gerechten ökonomischen Prosperität mit der Notwendigkeit zum Schutz und Erhalt der natürlichen Existenzgrundlagen, d.h. der Einhaltung der Tragfähigkeit/Belastbarkeit der natürlichen Systeme, zu vereinbaren. Aufgrund seiner fundamentalen Bedeutung ist der Nachhaltigkeitsgedanke zur allumfassenden Leitidee für die politischen und humanitären Aktivitäten der Vereinten Nationen, u.a. im Rahmen ihres globalen Handlungsprogramms *Agenda 21*, erklärt worden (United Nations 1987, 1993; UNESCO 1997; Di Giulio 2004). Dabei ist mit dem Leitprinzip eine Vision der Zukunft verbunden, in der (im-)materielle Bedürfnisse befriedigt sind und der allgemeine Lebensstandard gut ist, ohne die Chancen zukünftiger Generationen auf die Verwirklichung dieser Vision zu gefährden. Zugrunde liegt ein partizipativer Ansatz, der die Interessen und Rechte aller Menschen, einschließlich zukünftig lebender, berücksichtigt und zahlreiche kulturelle Werte, gesellschaftliche Ideale und ethisch-moralische

Prinzipien in sich vereint (United Nations 1987, 1993; Hopkins & McKeown 2002; Di Giulio 2004; UNESCO et al. 2009; UNESCO 2012). Angesichts der Erkenntnis, „*dass Umweltanliegen und Anliegen der (wirtschaftlichen und sozialen) Entwicklung auszubalancieren und Umwelt und Entwicklung als sich wechselseitig beeinflussend zu betrachten sind und nicht als voneinander getrennte und konfligierende Bereiche aufgefasst werden sollten*“ (Di Giulio 2004: 28f.), stellt die angesprochene holistisch-integrative Sichtweise, zusammen mit der Berücksichtigung von maßstabs-/dimensionsübergreifenden Zusammenhängen und verschiedenen Perspektiven bei der Entscheidungs-/Urteilsfindung, einen unverzichtbaren Ansatz dar, um nicht nachhaltige Entwicklungen aufzudecken (UNESCO 2012). Im Kern bedeutet dies, die Kulturwelt mit ihren Subsystemen als in die natürlichen Systeme eingebettet zu betrachten. Das hieraus hervorgehende Prinzip der Gesamtvernetzung (Retinität) gilt nach Jörissen et al. (1999), Bertschy et al. (2007), Künzli & Bertschy (2008), Leng (2009) und Rieckmann (2010) als eines der konstitutiven Elemente einer NE[4]; für den Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU 1994) stellt es die essenzielle Voraussetzung dar, um hochkomplexe Wirklichkeitsbereiche überhaupt angemessen verstehen zu können. In der Folge gilt es das weltumspannende Geflecht aus Beziehungen/Wechselwirkungen den drei integralen Sphären der Nachhaltigkeit (Nachhaltigkeitsdimensionen), Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, zugeordnet und vor einem lokal-kulturellen Hintergrund betrachten[5] (United Nations General Assembly 2005; UNESCO 2005, 2012). Anhand einer genauen Festlegung, wie der zukünftige Zustand der Nachhaltigkeit aussehen soll, lassen sich konkrete Nachhaltigkeitsziele formulieren. Eine Entwicklung gilt dann als nachhaltig, wenn sie nicht nur das Ziel der Nachhaltigkeit anvisiert, sondern wenn sie „*dauerhaft umweltgerecht, sozialverträglich und wirtschaftlich tragfähig ist und die Partizipation gesellschaftlich wichtiger Gruppen fördert*“ (de Haan & Gerhold 2008: 5). Die weltweit zur Realisierung von Nachhaltigkeitszielen beschlossenen Maßnahmen folgen verschiedenen Nachhaltigkeitsstrategien, zu denen u.a. ein tiefgreifender mentaler Wandel in den habitualisierten Wertorientierungen/Überzeugungen und den darauf aufbauenden Denk-, Handlungs- und Verhaltensweisen von Individuen und Gesellschaften zählt. Diesem gesellschaftsbezogenen Ansatz wird eine elementare Bedeutung für die Transformation zu einer nachhaltigen Weltgesellschaft zugeschrieben (United Nations 1987, 1993; de Haan & Harenberg 1999; BMBF 2002; Haubrich et al. 2007; de Haan 2008: 24; Künzli & Bertschy 2008; Hauenschild & Bolscho 2009; Programm Transfer-21 2010; Tilbury 2011; UNESCO 2012; Wals 2012; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 110).

2.1.2 Bildung als Antrieb für eine Nachhaltige Entwicklung

Als menschliches Grundbedürfnis stellt Bildung ein übergeordnetes Nachhaltigkeitsziel dar. Zugleich erlangt Bildung eine besondere Bedeutung als ein instrumenteller Ansatz zur Realisierung einer NE. Die hieraus hervorgehende BNE ist funktional darauf ausgerichtet, die Abkehr von nicht nachhaltigen Handlungs-/Verhaltensweisen einzuleiten, indem Individuen dazu motiviert und befähigt werden, fehlende Nachhaltigkeit zu erkennen, das eigene Handeln/Verhalten nachhaltigkeitskonform auszurichten und an der gesellschaftlichen Realisierung von Nachhaltigkeitszielen aktiv teilzuhaben. In diesem Sinne fungiert Bildung als ein unverzichtbarer Antrieb für eine NE dar (United Nations 1993; BMBF 2002; UNESCO 1997, 2012, 2014; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008; Rieß 2013: 56). Die Implementierung des Leitbildes BNE in alle Bildungsbereiche wurde 2005 – 2014 im Rahmen der

[4] Als weitere konstitutive Elemente gelten die Anthropozentrische Perspektive, Intra-/intergenerationelle Gerechtigkeit, Globalität, Zukunftsorientierung, Partizipation und Normativität des Konzepts (Jörissen et al. 1999, Bertschy et al. 2007, Künzli & Bertschy 2008, Rieckmann 2010).

[5] Seit dem Erscheinen des Berichts sind zahlreiche Definitionen publiziert worden, die z.T. eine Kultur- und/oder Politik-Dimension separat ausweisen (vgl. in Di Giulio 2004; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008). Diese Arbeit folgt der Definition gemäß den Vereinten Nationen, die auf Our Common Future aufbaut.

Weltdekade BNE weltweit unterstützt (UNESCO 2005, 2014a; Tilbury 2011; Wals 2012) und wird im *Weltaktionsprogramm BNE* auf fünf Prioritätsfelder fokussiert fortgesetzt (UNESCO 2014). Darin beschreibt Bildung ein Lern- und Handlungsfeld (vgl. de Haan et al. 2008), in dem der Bildungsgedanke mit Förderlichem für eine NE verknüpft wird. Hierdurch erhält Bildung selbst eine funktionale Ausrichtung entlang des Nachhaltigkeitsgedankens (Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008; UNESCO et al. 2009).

In Deutschland konzentrieren sich die Anstrengungen auf eine Neuausrichtung des Bildungsbereichs auf die BNE, wobei diese ein integrativer Bestandteil von Allgemeinbildung ist. Es wird ein *„neues, zukunftsfähiges Verständnis von Bildung*" (BMBF 2009: 6) intendiert (Michelsen 2007; de Haan 2002, 2008; de Haan et al. 2008; de Haan & Gerhold 2008; Hauenschild & Bolscho 2009). Die im *Orientierungsrahmens BNE* (BLK 1998) formulierten Eckpunkte und Anregungen für relevante Lernziele, Lerninhalte und Gestaltungsprinzipien dienen als Richtschnur für die Ausgestaltung der Bildungspraxis, die im schulischen Bereich bundesweit über die Bildungsprogramme *BLK-Programm "21"* (BLK 1998, 2005) und *Transfer-21* (Programm Transfer-21 2007) eingeleitet worden ist (de Haan 2008: 26; Hauenschild & Bolscho 2009). Seit dem *Nationalen Aktionsplan BNE* (DUK 2005) und der gemeinsamen Empfehlung der KMK und der Deutschen UNESCO-Kommission (KMK & DUK 2007) hat BNE in zunehmendem Maße Eingang in die Bildungspläne aller Bundesländer gefunden und ist zu einem durchaus festen Bestandteil der Bildungspraxis in Deutschland geworden (de Haan et al. 2008; BMBF 2009; KMK 2012; DUK 2013). Sie besitzt Relevanz für die Schulfächer und insbesondere auch für den fächerübergreifenden Unterricht (de Haan & Seitz 2001a; Hauenschild & Bolscho 2009; Programm Transfer-21 o.J.). Eine besonders große Affinität haben dabei bisher die Fächer Geographie (Gross & Friese 2000; Haubrich et al. 2007; de Haan et al. 2008; Hauenschild & Bolscho 2009; Programm Transfer-21 2010; Consentius & de Haan 2011; DGfG 2012; Schrüfer & Schockemöhle 2012: 121ff.; DUK 2013; Siegmund et al. 2014: 17), Biologie (KMK 2004a; de Haan et al. 2008; Hauenschild & Bolscho 2009; Programm Transfer-21 2010; Consentius & de Haan 2011; DUK 2013) und der Sachunterricht (DUK 2013) gezeigt.

2.1.3 Systemisches Denken als ein zentrales Lernziel und Gestaltungsprinzip

Im Rahmen der BNE sind Lernziele und die zu ihrer Förderung festgelegten Gestaltungsprinzipien für Lehr-Lern-Prozesse auf die Befähigung von Individuen zur aktiven Teilhabe an der Verwirklichung von Nachhaltigkeit ausgerichtet. Aus der großen Vielfalt an Lernzielen und Gestaltungsprinzipien wird in Kapitel 2.1.3.1 die besondere Relevanz des systemischen Denkens herausgearbeitet und in Kapitel 2.1.3.2 in seiner Bedeutung auch für den Geographieunterricht dargelegt.

2.1.3.1 Systemisches Denken als Lernziel und Gestaltungsprinzip der BNE

Die Ansichten über konkret anzustrebende Lernziele in der BNE variieren international erheblich, obschon sich Schwerpunkte in den Bereichen *Zukunftsorientierung bzw. vorausschauendes Denken*, *Kooperation/Kollaboration bzw. Partizipation*, *Inter-/Transdisziplinarität*, *Handlungsbezug*, *Werte bzw. Bewertung*, *Kritisches Denken* sowie *Systemisches Denken, vernetztes Denken bzw. Verständnis für/ Umgang mit Komplexität*[6] erkennen lassen (vgl. hierzu u.a. in United Nations 1993; Hopkins &

[6] Die mentale Leistung, sich einen Wirklichkeitsbereich als System vorzustellen (Kapitel 2.2), wird in der BNE als systemisches Denken (Rieß & Mischo 2008; Rieß 2013; Rieß et al. 2013) bzw. systems thinking (Wals 2009, 2012; Frisk & Larson 2011; Tilbury 2011), als vernetztes Denken (de Haan & Seitz 2001a; Bertschy 2007, 2008; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008) oder zusammenfassend als systemisches (vernetztes) Denken (BLK 1998; de Haan & Harenberg 1999) bezeichnet. Auch die Bezeichnungen Schlüsselqualifikation (BLK 1998) bzw. Systemkompetenz (Bögeholz et al.

McKeown 2002: 19; Breiting et al. 2005; McKeown et al. 2006; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008; UNESCO et al. 2009; Rieckmann 2010, 2011; Frisk & Larson 2011; Tilbury 2011; UNESCO 2012; Wals 2012). Weitestgehend identische Schwerpunktsetzungen liegen bei den Prinzipien für die Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen im Rahmen der BNE vor, die u.a. ebenso die Förderung systemischen Denkens betreffen (vgl. hierzu u.a. in Breiting et al. 2005; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008; Wals 2012).

In Deutschland hat mit dem Übergang zur BNE eine Veränderung in den Lernzielen sowie ein Wandel in der Rolle von Lernenden in Lehr-Lern-Prozessen eingesetzt (BLK 1998; Michelsen 2007: 17). Bezüglich konkreter Lernziele ist im Rahmen der Outcome-Orientierung der Erwerb von Problemlösestrategien in Kombination mit Handlungskonzepten in den Vordergrund gerückt. Sie sollen Lernende in die Lage versetzen, willentlich selbstbestimmt im Sinne der Nachhaltigkeit zu agieren (de Haan 2004, 2008: 29; de Haan et al. 2008; Oelkers & Reusser 2008; Rieckmann 2010). Erprobte Prinzipien, Praktiken und Methoden werden nun noch stärker in einen inter-/transdisziplinären Kontext gestellt und um ein Bündel innovativer Konzepte und Ansätze erweitert (BLK 1998, 2005; Programm Transfer-21 2007; Hauenschild & Bolscho 2009). Hierbei von Bedeutung sind die Gestaltungsprinzipien des *Orientierungsrahmens BNE* (BLK 1998), die zu Leitlinien der nationalen Bildungspraxis erklärt wurden (Deutscher Bundestag 2000). Unter ihnen befindet sich die Systemorientierung, d.h. die Förderung des Erwerbs von systemischem (vernetztem) Denken, um den systemischen Charakter des aktuellen Globalen Wandels[7], wie er vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 1996) ausgewiesen wird, zu erfassen und zu verstehen. Die damit verbundene inter-/transdisziplinäre Sichtweise als Grundlage für den Umgang mit Komplexität ist zu einem Bestandteil allgemein gültiger Anforderungen an die Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen in der BNE geworden (vgl. hierzu u.a. in de Haan 2001: 42f.; de Haan & Seitz 2001b: 65f.; Michelsen 2007: 24; de Haan et al. 2008; Programm Transfer-21 o.J.). Aus der Sicht von Rieß & Mischo (2008: 216), Rieß (2013) und Rieß et al. (2013) besteht eine zentrale Aufgabe im Kontext der Systemorientierung darin, Individuen zu befähigen, „*in die Entwicklung komplexer Systeme einzugreifen, um sie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung beeinflussen zu können*“ (Rieß 2013: 59). Hierfür bedarf es des Verständnisses der Komplexität des Nachhaltigkeitsgedankens und des Leitbilds einer NE (Bollmann-Zuberbühler 2008: 100) wie auch des systemischen Charakters hochkomplexer, dynamischer Wirklichkeitsbereiche (Ossimitz 1994: 196; WBGU 1996; Rieß & Mischo 2008: 215f.; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 113). Dies impliziert im Rahmen einer integrativen Sichtweise systemisches Denken (Rieß & Mischo 2008: 216; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 111; Bräutigam 2014). Rieß et al. (2013: 115) gehen soweit, systemisches Denken als grundsätzliche Voraussetzung für die erfolgreiche Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen zu bezeichnen. Seine elementare Bedeutung als Lernziel (vgl. Bräutigam 2014) wird einerseits weiter verdeutlicht durch Studien, in denen auf der Basis eines adäquaten Systemverständnisses eine effektive Handhabung nachhaltigkeitsrelevanter Themen gefordert wird (Rost 2002; Booth Sweeney & Sterman 2007; Rieß & Mischo 2008: 216; Rieß 2013; Bräutigam 2014), sowie andererseits durch die nachfolgenden Konzeptionen und Modelle, in denen diese Fähigkeit/Kompetenz als ein zentrales Lernziel formuliert ist:

2002; KMK & BMZ 2007; Programm Transfer-21 2007, 2010; de Haan 2008; de Haan et al. 2008) finden Verwendung. In dieser Arbeit werden alle Begrifflichkeiten quellengetreu wiedergegeben. Dort, wo kein Quellenbezug besteht, wird – mit Blick auf die Spezifierung in Kapitel 3.2 – einheitlich von systemischem Denken gesprochen.

[7] Unter diesem Begriff wird der durch anthropogene Eingriffe in das System Erde ausgelöste Transformationsprozess in den natürlichen Gegebenheiten bezeichnet, der zu den weltweiten Umweltveränderungen führt und die Lebensgrundlagen der Menschheit in zunehmendem Maße bedroht (WBGU 1996).

- *SRU (1994)*: Im ersten *Umweltgutachten* ist im Kontext der Umweltbildung eine *Ökologisch orientierte Schlüsselkompetenz* ausgewiesen, die mit dem *Ökologisch orientierten Handeln* von Individuen in Verbindung gebracht wird. Das „*grundlegende Verstehen des umweltethischen Prinzips der Retinität*" (ebd., S. 164) wird als entscheidende ökologische Schlüsselqualifikation innerhalb einer Reihe von zu erwerbenden Fähigkeiten/Qualifikationen betont. Ein adäquates Verständnis des Retinitätsprinzips wird als Voraussetzung für die Erfassung und das Verständnis komplexer Umweltprobleme bezeichnet (vgl. de Haan & Harenberg 1999).
- *Rost & Kollegen*: Die Autor/innen legen ein *Rahmenmodell für Kompetenzen einer BNE* mit den Bereichen *Wissen*, *Bewerten* und *Handeln* vor. Innerhalb des ersteren wird die Fähigkeit verortet, globale Systemzusammenhänge zu verstehen und mit diesen umzugehen. Im Rahmen einer systemorientierten Betrachtungsweise gilt es den Erwerb von *Systemkompetenz* anzustreben, für die *Interdisziplinäre Wissensstrukturen* und die *Fähigkeit zur Wissensaneignung* konstitutiv sind (Rost et al. 2003; Lauströer & Rost 2008: 90f.).
- *Bögeholz & Kollegen*: Vorgelegt worden ist ein BNE-Modell, das *Sachkompetenz*, *Normative Kompetenz* und *Handlungskompetenz* differenziert. Erstere umfasst *Einfaches Faktenwissen*, *Epistemologische Kompetenz* sowie *Konzeptwissen*, das die Fähigkeit beinhaltet, Zusammenhänge in Bezug auf die drei Nachhaltigkeitsdimensionen, d.h. im Kontext des Retinitätsprinzips, zu (er-) kennen (Bögeholz et al. 2002).
- *KMK & BMZ (2007)*: Mit dem *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* ist ein umfassendes Bildungskonzept ausgearbeitet worden, das eine fächerübergreifende Verankerung dieses Lernbereichs als Bestandteil der BNE in der Schul-/Berufsbildung anvisiert. Aus übergreifenden Bildungszielen heraus wurden orientierende Aussagen in Bezug auf zu erwerbende Kompetenzen sowie dafür geeignete Fachthemen und fachbezogene Leistungsanforderungen formuliert. Insgesamt werden die Kernkompetenzen *Erkennen*, *Bewerten* und *Handeln* unterschieden. Zur Ersten gehört u.a. die Analyse des globalen Wandels, mit der das Erkennen von Beziehungen, Vernetzungen, Verflechtungen, Kausalitäten, (Aus-)Wirkungen, Spannungsverhältnissen, Konflikten, Abhängigkeiten in und zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen und deren Zusammenwirken verbunden ist.
- *de Haan & Kollegen*: Im *Bericht zur BNE in Deutschland* (Bundesregierung 2013) sind zu erwerbende Kompetenzen mit dem Modell *Gestaltungskompetenz für nachhaltige Entwicklung* gleichgesetzt. Grund hierfür ist die breite Akzeptanz und Anerkennung der darin formulierten Kompetenzen als formale Lernziele der BNE in Deutschland (Gräsel et al. 2012: 10; Michelsen & Rode 2012: 108f.). Bereits in der allgemeinen Zielformulierung wird die Stellung von systemischem Denken darin deutlich:

  > „*Mit Gestaltungskompetenz wird die Fähigkeit bezeichnet, Wissen über nachhaltige Entwicklung anwenden und Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können. Das heißt, aus Gegenwartsanalysen und Zukunftsstudien Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit ziehen und darauf basierende Entscheidungen treffen, verstehen und individuell, gemeinschaftlich und politisch umsetzen zu können, mit denen sich nachhaltige Entwicklungsprozesse verwirklichen lassen*" (Programm Transfer-21 2007: 12)

Gestaltungskompetenz beschreibt ein Bündel aus 12 Teilkompetenzen für die Sekundarstufe I, die sich aus Einzelkompetenzen zusammensetzen (de Haan & Harenberg 1999; Programm Transfer-21 2007, 2010; de Haan 2008: 30; de Haan et al. 2008). Innerhalb der *Kompetenz zur disziplinenübergreifenden Erkenntnisgewinnung* (T3) betrifft eine Einzelkompetenz die *Beschreibung und Erklärung des Aufbaus, der Funktion und der Entwicklung komplexer Systeme* (T.3.1). Sie nimmt explizit Bezug zum Systembegriff. Die Einzelkompetenz zur *Beschreibung und Erklärung von Beziehungsgeflechten für die Darstellung nicht nachhaltiger und nicht gerechter globaler Entwicklungen* (T.3.2) sowie die zur *Analyse und Beurteilung von Interdependenzen ökologischer, ökonomischer und sozialer Entwicklungen* (T.3.10) lassen ebenso einen Zusammenhang zum systemischen Denken erkennen. Beide implizieren, wie die übergeordnete Teilkompetenz T3, die Aneignung inter-/transdisziplinären Wissens, das nach de Haan & Harenberg (1999) in systemischem (vernetztem) Denken kulminiert und die Verknüpfung vielfältiger Wahrnehmungs- und Erfahrungsfähigkeiten ermöglicht. Die Autor/innen sehen systemisches (vernetztes) Denken als kognitive Leistung, die Natur- und Kulturwelt vernetzt zu erfassen (Retinität), mit Nichtlinearität umzugehen und Wechselwirkungen/Dynamiken wahrzunehmen.

Im Rahmen ihres Reviews von Forschungsaktivitäten im Bereich BNE stellen Gräsel et al. (2012: 13) die Bedeutung der Repräsentation von (systemischem) Wissen über die Vernetztheit der Nachhaltigkeitsdimensionen fest. Die Autor/innen betonen die Notwendigkeit, derartiges Wissen in der Kompetenzforschung zur BNE über entsprechende Aufgaben (stärker als bisher) zu erfassen.

Michelsen & Rode (2012: 91ff.) befragten im Jahr 2008 UN-Dekade-Projekte nach der Verbreitung verschiedener Inhaltsaspekte. Die Autoren gaben 14 Aspekte vor, die neben Fähigkeiten/Kompetenzen im Kontext der Gestaltungskompetenz auch Denk- und Vorgehensweisen sowie konkrete Themen betrafen. Aus den Ergebnissen zeigt sich, dass die Wechselwirkungen von ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren am dritthäufigsten sowie das Verständnis komplexer Systeme am zehnthäufigsten behandelt wurden. Da beide einen unmittelbaren Bezug zum systemischen Denken aufweisen, lässt sich dessen Relevanz in der bildungspraktischen Arbeit unmittelbar erkennen.

Eine Zusammenführung der internationalen Perspektive auf BNE mit den Konzeptionen/Modellen in Deutschland verdeutlicht den Stellenwert, der systemischem Denken innerhalb der Vielfalt von Lernzielen beigemessen wird. Im Kontext der konstitutiven Elemente einer NE aus Kapitel 2.1.1 weist systemisches Denken in der BNE in Anlehnung an BLK (1998), Bertschy (2007, 2008), Bertschy et al. (2007) und Künzli & Bertschy (2008) einen inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Bezug auf (Tabelle 1); dies entspricht den Darstellungen in der *Bonn Declaration on Education for Sustainable Development* (UNESCO et al. 2009) und unterscheidet sich von Bräutigam (2014), bei der kein Raum- bzw. Zeitbezug ausgewiesen ist.

Tabelle 1: Relevante Bezugsdimensionen für systemisches Denken in der BNE

Bezugsdimension	Bertschy (2007, 2008), Bertschy et al. (2007), Künzli & Bertschy (2008)	BLK (2008)
Inhaltliche Dimension Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft	**Integration der Nachhaltigkeitsdimensionen**: Die Dimensionen bedürfen angesichts ihrer vielfältigen Zusammenhänge einer umfassenden Perspektive als Grundlage für nachhaltigkeitskonforme Entscheidungsprozesse.	**Vernetzungsperspektive**: Im Rahmen einer dimensionsübergreifenden Betrachtungsweise sind die Wechselbeziehungen zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen und damit verbundene Auswirkungen zu berücksichtigen.
Räumliche Dimension lokal, regional und global	**Intragenerationelle Gerechtigkeit**: Gesellschaftliche Aushandlungs- und Entscheidungsprozesse sowie daraus folgende Entwicklungsmaßnahmen sind in einen globalen Kontext zu stellen, in dessen Rahmen die Gegebenheiten und Anforderungen/Herausforderungen auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen aufeinander zu beziehen sind.	**Globale Perspektive**: Ökonomische, ökologische sowie gesellschaftliche Verhältnisse und Entwicklungen sind auf verschiedenen Maßstabsebenen zu betrachten und miteinander zu vergleichen, um intragenerationelle Disparitäten aufzudecken. Hierzu bedarf es einer Perspektive, die unterschiedliche räumliche Entitäten miteinander vergleichend betrachtet.
Zeitliche Dimension Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	**Intergenerationelle Gerechtigkeit**: Nachhaltigkeit als Vision einer nachhaltigen Zukunft, in der kommende Generationen ihre (Grund-)Bedürfnisse ebenfalls befriedigen und ein gutes Leben führen können sollen, impliziert die Notwendigkeit, die Perspektive aktuell und künftig lebender Generationen parallel einzunehmen und entsprechende Zusammenhänge zu berücksichtigen.	**Zukunftsperspektive**: Im Kontext des Zukunftsbezugs von Nachhaltigkeit sind die (Grund-) Bedürfnisse kommender Generationen gleichfalls zu bedenken und die Folgen, Konsequenzen und Auswirkungen rezenter Entwicklungen und heutiger Entscheidungen für künftige Generationen einzuschätzen.

Im Kontext der BNE stellt systemisches Denken eine essenzielle Voraussetzung dar, um im Rahmen einer holistisch-integrativen Betrachtungsweise hochkomplexe, dynamische Wirklichkeitsbereiche als Beziehungsgeflecht der Nachhaltigkeitsdimensionen und ihrer Wechselwirkungen in ihrem jeweiligen inhaltlichen Wesen und in ihrer jeweiligen Räumlichkeit und Zeitlichkeit zu verstehen (Abbildung 1).

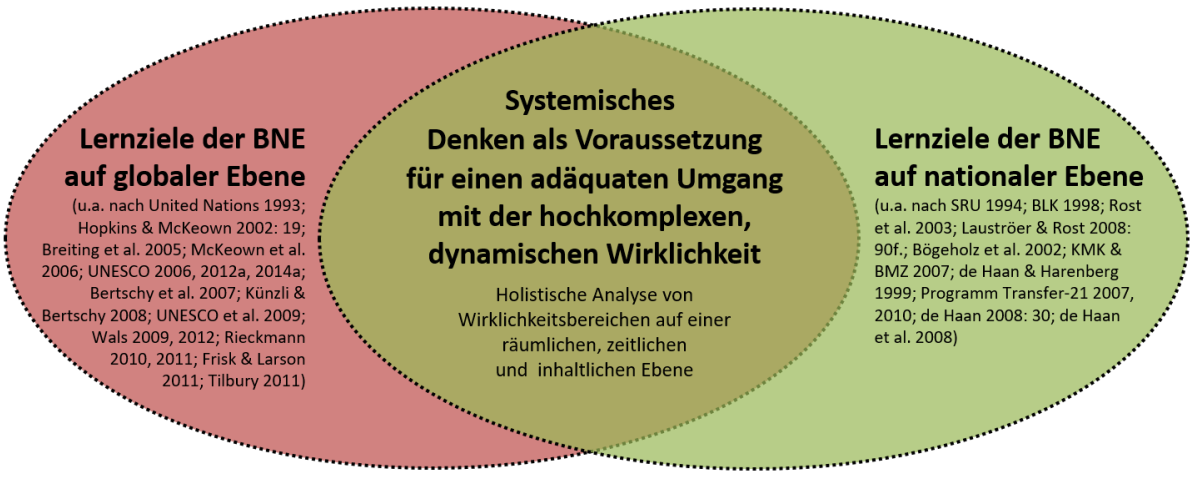


Abbildung 1: Systemisches Denken als ein Lernziel der BNE (eigene Darstellung)

Im Hinblick auf das Leitbild einer NE stellt ein adäquat ausgeprägtes systemisches Denken die Voraussetzung dar, um die *„Auswirkungen menschlicher Aktivitäten in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft (einschließlich Kultur und Politik) untersuchen und im Hinblick auf ihre Vereinbarkeit mit bestehenden gesellschaftlichen Prinzipien, Idealen und Wertvorstellungen (gemäß dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung) überprüfen zu können*." (Haspel & Jahn 2014: 59).

2.1.3.2 Die Relevanz systemischen Denkens im Geographieunterricht

Untersuchungsgegenstand des Faches Geographie ist die Erde und die auf ihr auftretenden Mensch-Umwelt-Beziehungen in ihren raum-zeitlichen Strukturen und Abläufen. Im Gegensatz zu anderen Disziplinen zeichnet sich das Fach aufgrund seiner Selbstdefinition als Brückenfach zwischen den Natur- und Gesellschaftswissenschaften (vgl. Siegmund et al. 2014: 17) durch eine bewusst holistisch-integrative Betrachtungsweise von Natur- und Kulturwelt aus. Dadurch, dass in vielen geographischen Auseinandersetzungen mit den komplexen, dynamischen Phänomenen und Entwicklungen in der Welt *„das Lokale und Globale, das Nahe und Ferne, das Physische und Menschliche, Menschen und Umgebungen, das Wirtschaftliche und Soziale, Zeit, Distanzen usw.“* (Lambert 2013: 174) miteinander in Verbindung gebracht wird, stellt das Denken in raumzeitlichen Zusammenhängen und Beziehungen, Interdependenzen und Wechselwirkungen, Entwicklungen und Veränderungen sowie Auswirkungen und Folgen eine inhärente Neigung des Faches dar. Grundlage für die systemische Erschließung der Wirklichkeit ist das Systemkonzept[8] (DGfG 2012), nach dem die Erde mit ihren verschiedenen Teilräumen als System Erde und in Kombination mit der Anthroposphäre als Mensch-Umwelt-System oder Mensch-Erde-System aufgefasst wird. Systemorientierung und Räumlichkeit bilden nach Viehrig et al. (2012: 95ff.) die charakteristischen Merkmale des Faches, wobei Systeme auf verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen verortet sein können (Köck 1985) und die betrachteten Systemaspekte jeweils von der gewählten Raummaßstabsebene abhängen (Rempfler 2009: 75).

Die Ausrichtung des Geographieunterrichts auf eine systemische Denk-/Betrachtungsweise besitzt in der Geographiedidaktik (Flath & Fuchs 1996) den Stellenwert eines Unterrichtsprinzips (Köck 2001) bzw. methodischen Prinzips (Rinschede 2007; Flath 2012: 250). Es geht darum, Lernende von einer gewohnt einfachen, linearen Denkweise mit monokausalen Erklärungsansätzen hin zu einer ganzheitlichen Denkstrategie, -haltung oder -einstellung zu bewegen, bei der Wirklichkeitsbereiche als raumzeitlich vernetzte Systeme verschiedener, in dynamischer Wechselwirkung zueinander stehender Subsysteme betrachtet werden (Hantschel 1985; Klaus 1985; Hantschel 1985; Köck 2001; Rinschede 2007: 194f.; Rempfler 2009: 75; Hieber et al. 2009; Rempfler & Uphues 2010); eine derartige Betrachtungsweise fordert u.a. der Bildungsplan für Geographie in baden-württembergischen Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004) und die mit ihm verbundenen unterrichtlichen Umsetzungsbeispiele (Landesinstitut für Schulentwicklung 2011a, 2011b).

Damit Räume als Systeme begriffen werden können (Köck 1985), sind Lerngelegenheiten von Bedeutung, in denen einzelne Systemelemente aus der Natur-/Kulturwelt bzw. aus den Nachhaltigkeitsdimensionen in Raum und Zeit erfasst (vgl. AFB I in DGfG 2012) und die kausalanalytischen oder funktionalen Beziehungen/Wirkungen zwischen ihnen wahrgenommen und verstanden werden können (vgl. AFB II in DGfG 2012). Hierauf bauen, teilweise im AFB III (DGfG 2012) abgebildet, Möglichkeiten zur Erfassung raumzeitlicher Strukturen, zur Wahrnehmung raumzeitlicher Prozesse mit ihren verschiedenen Wirkungen, Effekten und Dynamiken, zur Erforschung raumzeitlicher Entwicklungen, zur Bewertung von Problemlagen in Räumen und zur Vorhersage von zukünftigen Entwicklungen auf (Gross & Friese 2000; Haubrich et al. 2007; Rinschede 2007; Rempfler & Uphues 2010, 2011: 38; Flath 2012; Ringel 2012: 183). Eine derartige Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit kulminiert in systemischem Denken (DGfG 2012), wobei Köck (2001) verschiedene Typen von vernetzendem Denken differenziert. Das Verständnis für den Systemcharakter trägt schließlich zusammen mit einer raum-

[8] Das Systemkonzept umfasst die drei Komponenten Raumstruktur (Aufstellung/Verbreitung von Elementen im Erdraum), Funktionsstatus (resultiert aus Elementbeziehungen und kann auch funktionale Beziehungen zwischen Räumen betreffen) und Prozesse (führen zu raumzeitlichen Veränderungen bei den Elementen und im Gesamtsystem).

bzw. umweltgerechten Handlungskomponente zum Erwerb der übergeordneten Raumverhaltenskompetenz bei, die als raumbezogene Schlüsselqualifikation (Köck 1993, 1997) bzw. als oberstes Leitziel des Geographieunterrichts (Rinschede 2007) gilt. Sie intendiert die Befähigung zum verantwortungsbewussten Umgang mit der physischen/sozialen Umwelt, die eine Beurteilung/Bewertung hinsichtlich der Verträglichkeit mit dem Leitbild einer NE impliziert (Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007; Rempfler & Uphues 2010, 2011: 36; DGfG 2012; Schrüfer & Schockemöhle 2012: 115/121; Mehren et al. 2014).

2.1.4 Die Themen Rohstoffe und Energie als Lerninhalte der BNE und des Geographieunterrichts

Mit der BNE wird die Förderung verschiedener Fähigkeiten/Kompetenzen anvisiert, die situations- und kontextgebunden erfolgt. Hierbei kommt den behandelten Lerninhalten eine zentrale Bedeutung zu, in deren Kontext die Fähigkeiten/Kompetenzen ausgebildet werden. Folglich ist die Auswahl von Lerninhalten an den Lernzielen ausgerichtet (Klafki 1996; Weinert 2001: 58; Rychen & Salganik 2003: 45f.; Kaufhold 2006; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008; Oelkers & Reusser 2008; Bernhard 2012). Im Folgenden wird die Relevanz der Themen Rohstoffe und Energie als relevante Lerninhalte in der BNE vorgestellt (Kapitel 2.1.4.1) und die Bedeutung für den Geographieunterricht aufgezeigt (Kapitel 2.1.4.2). Beide finden ihre Zusammenführung in der Thematik des Braunkohleabbaus, die im Anschluss aus fachlicher Sicht vorgestellt wird (Kapitel 2.1.4.3).

2.1.4.1 Die Themen Rohstoffe und Energie als Lerninhalt der BNE

Im Kontext der BNE tritt innovatives, lebensweltbezogenes Wissen in den Vordergrund, das das Interesse von Lernenden weckt, sich positiv auf deren Lernprozesse auswirkt und die Akkumulation trägen Wissens unterbindet (de Haan 2004, 2008: 37; de Haan et al. 2008). Die Eignung von Themen als Lerninhalte ist nach Bertschy et al. (2007) bzw. Künzli & Bertschy (2008) an eine hohe Relevanz für das Leitbild einer NE und seine Umsetzung gebunden; zugleich ist ein unmittelbarer Bezug zu den menschlichen Bedürfnissen erforderlich. Eine weitere Bedeutung haben die drei Bezugsdimensionen aus Tabelle 1. Aktuelle, weltweite Problemlagen eignen sich ebenso wie die zu ihrer Überwindung angestrebten Nachhaltigkeitsziele als potenzielle Lerninhalte (UNESCO 2005, 2012a; McKeown et al. 2006; Bertschy et al. 2007; Künzli & Bertschy 2008;). Die *Vereinten Nationen* bzw. die *UNESCO* betrachten nahezu alle in der *Agenda 21* behandelten Themen als potenziell relevant. Angesichts der Berücksichtigung nationaler Rahmenbedingungen, Anforderungen und Prioritäten resultiert hieraus international eine große Themenvielfalt (vgl. hierzu u.a. in Hopkins & McKeown 2002; UNESCO 2005, 2012a; UNESCO et al. 2009). Zu den Schlüsselthemen einer NE gehören bei Rieckmann (2010, 2011) u.a. die Themen fossile Rohstoffe und Energie.

Auch in Deutschland sind Lerninhalte auf nationale Gegebenheiten und Anforderungen ausgerichtet, ohne den globalen Blick zu vernachlässigen. Als mehr oder weniger gültige Selektionskriterien können jene in Tabelle 2 angesehen werden, die auf den Erläuterungen in einer Handreichung des *Programms Transfer-21* zu den Kompetenzen in der BNE (Programm Transfer-21 2010, o.J.) beruhen und um ältere Beschreibungen von de Haan (2001: 39f., 2002: 16f.), de Haan & Seitz (2001a: 64f.), BLK-Programm "21" (2003), KMK & DUK (2007) und Programm Transfer-21 (o.J.) ergänzt sind.

Tabelle 2: Selektionskriterien für Lerninhalte in der BNE in Deutschland

Selektionskriterien mit inhaltlicher Beschreibung
Orientierung am Leitbild einer NE: Im Kontext des Retinitätsprinzips stellt die dimensionsübergreifende Beschäftigung mit (nicht) nachhaltigen Entwicklungsprozessen inklusive der Betrachtung von Ursachen und Gründen sowie Folgen und Auswirkungen ein zentrales Kriterium für die Themenauswahl dar. Die Herausarbeitung möglicher Lösungsansätze für Problemlagen ist ebenso durch Themen zu ermöglichen wie die Erschließung des Bedarfs, der Bedingungen und der Perspektiven zukunftsfähiger Entwicklungen.
Langfristige Bedeutung: Themen sollten über tagesaktuelle Ereignisse hinausgehen und eine Auseinandersetzung mit möglichen Pfaden der Zukunftsgestaltung, z.B. im Kontext von Fragen zur intergenerationellen Gerechtigkeit, zulassen. Dieser Zukunftsbezug im Rahmen einer lang- oder zumindest längerfristigen Bedeutung des Themas für die gesellschaftliche Fortentwicklung stellt ein weiteres zentrales Auswahlkriterium dar, das mit dem Anspruch einer zukunftsfähigen Bildung korrespondiert.
Differenzierte Wissensgrundlage: Themen sollten auf einer breiten, differenzierten Wissens- und Erkenntnisbasis aus den Bereichen Wissenschaft, Forschung und Politik beruhen, um ein potenzielles Thema möglichst vielseitig (idealerweise holistisch) bearbeiten zu können (Retinitätsprinzip) und unterschiedliche persönliche Erfahrungen und Auffassungen von Lernenden zuzulassen. Dies impliziert Inter-/Transdisziplinarität. Wissensdefizite sind dabei kenntlich zu machen.
Handlungspotenzial: Dem Partizipationsgedanken des Leitbildes folgend sind Themen derart zu bestimmen, dass sie Erfolg versprechende Handlungsmöglichkeiten für den Einzelnen bzw. für die Gemeinschaft anbieten. Über die persönliche Identifikation mit dem Thema sollten Motivation und daraus folgend Engagement für das eigene bzw. kollektive Handeln ausgelöst werden können, bei dem solidarisches Verhalten als ein zentrales Leitprinzip des Handelns (im Rahmen von intragenerationeller Gerechtigkeit) gleichfalls über das Thema hervorgerufen werden können sollte.
Kompetenzbezug (BNE- und fachspezifische Kompetenzen): Angesichts des anvisierten Erwerbs von nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen ist die Auswahl von Themen auf jene Gegenstände zu zentrieren, die den Erwerb bzw. die Förderung nachhaltigkeitsorientierter Kompetenzen ermöglichen. Über diese BNE-spezifischen Fähigkeiten hinaus sollte durch potenzielle Themen gleichfalls die Aneignung von fachspezifischen Kompetenzen grundsätzlich möglich sein.
Lebensweltbezug und globale Weltsicht: Themen sind so auszuwählen, dass sie sich nach Möglichkeit auf konkrete Bereiche des Alltags- bzw. Berufslebens beziehen und die Erfahrungen, die dort gemacht wurden, einbeziehen. Dem Merkmal der Globalität zufolge ist die Selektion von Themen auf jene Wirklichkeitsbereiche zu fokussieren, die einerseits eine weltweite Dimension bzw. einen weltweiten Bezug aufweisen und zugleich andererseits an die Lebenswirklichkeit der Lernenden anschließen, sodass Zusammenhänge zwischen dem eigenen (lokalen) Handeln und den globalen Auswirkungen erörtert werden können.
Förderung von selbstorganisiertem Lernen und Perspektivenwechsel*: Angesichts der Orientierung am Kompetenzkonzept sind Lernprozesse derart zu gestalten, dass selbstorganisiertes und selbstgesteuertes Lernen (im Kontext von Problemlösungsprozessen) realisiert werden kann, in dessen Verlauf die Lernenden ihre Kompetenzen erweitern können. Daneben sollte es anhand eines potenziellen Themas möglich sein, auf verschiedene, ggf. konfligierende Positionen von Akteuren bzw. Gruppen (Interessen, Meinungen, Wertvorstellungen etc.) eingehen zu können.
Relevanz für die Bildungsziele der Lernenden*: Lernende haben eigene Interessen und Erwartungen an die formale Bildung und die in ihrem Rahmen behandelten Themen und Inhalte. Aufgabe der BNE ist es in diesem Zusammenhang im Rahmen von Themen das Eigeninteresse von Lernenden an Sachverhalten zu wecken bzw. zu unterstützen und ihre (intrinsische) Motivation für eine aktive, selbstgesteuerte Teilnahme am Lernprozess zu steigern.

* Vom Autor dieser Arbeit aufgrund fehlender Erläuterungen inhaltlich konkretisiert.

Quellen: de Haan (2001: 39f., 2002: 16f.), de Haan & Seitz (2001a): 64f.), BLK-Programm "21" (2003), KMK & DUK (2007) und Programm Transfer-21 (2010, o.J.).

In der Vergangenheit sind aus fachlicher (ISI 1998) wie bildungspolitischer (BLK 1998; de Haan 2002; BMBF 2009; KMK & BMZ 2007; Programm Transfer-21 2007; Bundesregierung 2012; Programm Transfer-21 o.J.) Sicht potenzielle Themen(-felder) für die BNE vorgeschlagen worden, die auf mehrere Themenkomplexe hindeuten, zu denen Wirtschaft und Produktion, Umwelt und Natur sowie Rohstoffe und Energie (u.a. mit (nicht) erneuerbare Rohstoffe, Rohstoffverbrauch und Energiegewinnung) zählen. Die Bedeutung letzteren zeigt sich ebenfalls im Konzept der Syndrome des Globalen Wandels

(WBGU 1996): In dem auf einem Systemansatz basierenden Konzept werden globale Umweltdegradationsmuster (Syndrome) auf der Basis von Ursache-Wirkungs-Verknüpfungen zwischen wiederkehrenden Trends bzw. Symptomen beschrieben. Unter den insgesamt 16 diagnostizierten Syndromen, die sich als globale Krankheitsbilder im Sinne weltweit auftretender, krisenhafter Muster nicht nachhaltiger Entwicklungsverläufe verstehen lassen, befindet sich das Katanga-Syndrom, das die Umweltdegradation im Zuge des Abbaus nicht erneuerbarer Ressourcen beschreibt. Es ist bereits in Form einer unterrichtlichen Lerneinheit zum Braunkohleabbau in der Lausitz didaktisch aufbereitet worden (Zeitler 2003); die allgemeine Bedeutung als Unterrichtsmethode ist von Cassel-Gintz & Harenberg (2002) bzw. Harenberg (o.J.) aufgezeigt worden. Das Thema Energie lässt sich keinem Syndrom direkt zuordnen, stellt jedoch einen Einflussfaktor in zahlreichen dar, wie etwa dem Katanga- oder dem Hoher-Schornstein-Syndrom.

Mit Blick auf die in Tabelle 2 genannten Selektionskriterien zeigt sich, dass es für ein möglichst holistisches Verständnis der Themen Rohstoffe und Energie einer inter-/transdisziplinären Wissensbasis bedarf. Beide Themen bieten Handlungsmöglichkeiten für den Einzelnen, z.B. im Rahmen eines reflektierten Energieverbrauchs im Alltag; insofern können Lernende in ihrem Rahmen selber einen aktiven Beitrag leisten. Damit bieten beide Anschlussfähigkeit und Lebensweltbezug und lassen sich zugleich in einem globalen Kontext darstellen und diskutieren, z.B. Energieimport/-export, ökologische Folgen. Die Berücksichtigung verschiedener Perspektiven (involvierte Akteure) ist eine zentrale Voraussetzung, um die mit ihnen verbundenen Problematiken angemessen zu verstehen. Es zeigt sich insgesamt, dass im Rahmen ihrer Auseinandersetzung vielfältige Möglichkeiten des Erwerbs nachhaltigkeitsrelevanter wie fachspezifischer Kompetenzen bestehen. Inwiefern selbstorganisiertes Lernen ermöglicht und das Interesse bzw. die Motivation für die Beschäftigung mit ihnen angeregt werden kann, hängt nicht zuletzt (auch) zu einem starken Maße von der konkreten Ausgestaltung des Lehr-Lern-Prozesses ab. Dass beide Themen im weiteren Sinne durchaus eine Relevanz für Heranwachsende besitzen, zeigen verschiedene Jugend-Studien wie u.a. *Jugend und die Zukunft der Welt* (Bertelsmann Stiftung 2009) bzw. die *JIM-Studie 2011* (MPFS 2011). In der bildungspraktischen Arbeit sind die am *BLK-Programm "21"* teilnehmenden Lehrkräfte um eine Einschätzung der unterrichtlichen Bedeutung verschiedener Nachhaltigkeitsthemen gebeten worden. Dem *Umgang mit Ressourcen/eigenes Verhalten*, bestehend aus den Einzelthemen *Energie (z.B. Wärmeerzeugung, Heizung, Licht)*, *Gesundheit* und *Umgang mit Rohstoffen*, ist dabei eine größere bzw. große Bedeutung zugeschrieben worden (Rode 2006: 89ff.). Bei der Befragung von UN-Dekade-Projekten durch Michelsen & Rode (2012: 91ff.) ist der reflektierte Umgang mit Ressourcen am häufigsten und die Erhaltung natürlicher Ressourcen am fünftmeisten als inhaltlicher Bestandteil genannt worden.

2.1.4.2 Die Relevanz der Themen Rohstoffe und Energie für den Geographieunterricht

Mit Blick auf die BNE schlagen Schrüfer & Schockemöhle (2012: 123f.) Selektionskriterien für die Auswahl geeigneter Themen für den Geographieunterricht vor, die sich mit den drei Bezugsdimensionen in Tabelle 1 decken. Des Weiteren wird eine dynamische, ethische und handlungsbezogene Ebene als explizit relevant hervorgehoben, die sich teilweise mit den drei Dimensionen sowie v.a. mit den Selektionskriterien in Tabelle 2 überschneiden. Bezogen auf den Geographieunterricht hält Bahr (2013a) es für notwendig, neben den Kernproblemen des Globalen Wandels auch jene Wirtschafts-/Lebensbereiche unterrichtlich zu thematisieren, die ein „*Umdenken im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung erfordern*“ (Bahr 2013a: 23). Zu diesen zählt der Autor u.a. das Thema Energie. Haubrich et al. (2007) benennen für einen nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht verschiedene zentrale Themen der Gegenwart, darunter die Übernutzung nicht erneuerbarer Rohstoffe sowie Fragen der Energie-

versorgung. Blume & Klein (2013) weisen ihrerseits auf die Bedeutung geographischer Kontexte bzw. von Mensch-Umwelt-Beziehungen als zentralem Untersuchungsgegenstand hin. Eine Betrachtung des Themas Energie aus geographischer Sicht erfordert den Autoren zufolge eine Beschäftigung mit dem Aspekt der Gewinnung/Erzeugung (Exploration von Primärenergieträgern bzw. Umwandlung in Kraftwerken) und der Versorgung/Bereitstellung (Transport über Leitungsnetze bzw. Verbrauch), wobei es um raumbezogene Strukturen (Erzeugungsstandorte etc.), Interaktionen (räumliche Versorgung etc.) und Prozesse (Dynamik des Sektors etc.) geht. In den Bildungsstandards des Faches (DGfG 2012) werden beide Themen exemplarisch für jene Lerninhalte aufgeführt, in deren Kontext die Fachkompetenz (F4 S17) erworben werden kann, „*das funktionale und systemische Zusammenwirken der natürlichen und anthropogenen Faktoren bei der Nutzung und Gestaltung von Räumen* […] *beschreiben und analysieren*“ (ebd., S. 15) zu können. Des Weiteren lässt sich über Ressourcenkonflikte die systemische Erklärung von Auswirkungen im Bereich der Raumnutzung und -gestaltung (F4 S19) anregen; weitere Bezüge finden sich bei den Kompetenzbereichen Beurteilung/Bewertung (B1 S2 und B4 S8) sowie Handlung (H1 S1). Die grundsätzliche Relevanz beider Themen für den Geographieunterricht zeigt sich auch im baden-württembergischen Bildungsplan für Geographie in der Kursstufe (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004), in dem die Erfassung von Landschaftsveränderungen durch verschiedene anthropogene Nutzungsformen in der zweistündige Kursstufe u.a. explizit in den Kontext des Rohstoffabbaus gestellt wird. Im Bereich der vierstündigen Kursstufe werden die Bildung von Lagerstätten und die wirtschaftliche Bedeutung (nicht erneuerbarer) Rohstoffe angeführt. In den Umsetzungsbeispielen des Landesinstituts für Schulentwicklung (2011a, 2011b) weisen Unterrichtsinhalte und Basisbegriffe einen direkten (u.a. Kohlelagerstätten, fossile Rohstoffe) bzw. indirekten (u.a. Flächennutzungskonflikt, ökologische Folgen, Rekultivierung bzw. Renaturierung) Bezug zum Thema Rohstoffe auf. Im Kontext von Kohlelagerstätten, Flächennutzungskonflikten und Rekultivierungs-/Renaturierungsmaßnahmen im Rahmen des Braunkohle-/Steinkohleabbau erfolgt der Brückenschlag zum Thema Energie.

In Schulbüchern werden beide Themen in der Kurs-/Oberstufe vielfältig behandelt. Ihre Unterrichtsrelevanz sei exemplarisch anhand der Schulbücher *TERRA Erdkunde Oberstufe Räume und Strukturen* (Ernst Klett Verlag GmbH 2007b), *TERRA Wirtschaftsgeographie Berufliche Gymnasien* (Ernst Klett Verlag GmbH 2012) und *Fundamente Geographie Oberstufe* (Ernst Klett Verlag GmbH 2014) aufgezeigt. Ein Blick auf die darin vorgeschlagenen Unterrichtsthemen zeigt die Behandlung des Themas Rohstoffe unter den Gesichtspunkten Rohstofftypen, Rohstoffentstehung/-verbreitung, gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung, Entwicklung der Rohstoffnutzung und Flächennutzungskonflikte sowie Nachhaltigkeitsaspekte von Abbau und Nutzung; im Rahmen letzterer erfolgt eine Verknüpfung zum Thema Energie. Es werden Fragen der Nachhaltigkeit u.a. am Beispiel der ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen des Braunkohleabbaus in Deutschland thematisiert (von der Ruhren 1997; Ernst Klett Verlag GmbH 2007a, 2012, 2014). In verschiedenen, hier exemplarisch angeführten Schulatlanten werden räumliche Strukturen der Energiewirtschaft/-versorgung kartenbasiert (Ernst Klett Verlag GmbH 2007a; Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH 2008a, 2008b) sowie konkrete Raumbeispiele des Rohstoffabbaus mittels Karten bzw. über den Vergleich von Karten mit Satellitenbildern (Georg Westermann Verlag GmbH 2010) behandelt. Weitere Unterrichtsmaterialien finden sich in den Zeitschriften *Praxis Geographie* (11/1998, 9/2008, 04/2010 und 1/2015), *Geographie und Schule* (183/2010, 192/2011 und 207/2014), *geographie heute* (191/2001, 230/2005, 249/2007 und 313/2013) und *Diercke 360°* (02/2009) sowie in *zeitbild wissen* (Oktober 2012).

2.1.4.3 Der Braunkohleabbau im Rheinischen Braunkohlerevier als Beispiel für eine Kombination der Themen Rohstoffe und Energie

Eine Zusammenführung der beiden Themen im Kontext der bergbaulichen Gewinnung fossiler Energierohstoffe zum Zweck der Energieerzeugung bietet die Thematik des Braunkohleabbaus. Nachfolgend wird auf den Abbau in Deutschland mit besonderem Blick auf das Rheinische Braunkohlerevier näher eingegangen: Es erfolgt eine Betrachtung der mit dem Abbau und der Energiegewinnung verbundenen Auswirkungen und Folgen in den Nachhaltigkeitsdimensionen, gefolgt von einer Erläuterung zur Bedeutung für die BNE und den nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht.

Der Braunkohleabbau im Rheinischen Braunkohlerevier

Im Jahr 2014 wurden in Deutschland brutto 614 Mrd. kWh Strom erzeugt, von denen rund 156 Mrd. kWh aus Braunkohlekraftwerken stammten. Der Anteil am Primärenergieverbrauch betrug ca. 12%. Für die Stromerzeugung wurden rund 159 Mio. t weitestgehend aus inländischen Vorkommen verfeuert, aus denen 34 Petajoule Fernwärme generiert werden konnte. Rund 17 Mio. t wurden in Veredlungsbetrieben weiterverarbeitet. Im Jahr 2014 stellte Deutschland mit ca. 178 Mio. t den weltweit größten Braunkohleproduzenten dar (DEBRIV 2015). Braunkohle ist hinter Bausanden/-kiesen der am zweitmeisten abgebaute Rohstoff hierzulande (Haas & Schlesinger 2010: 112).

Der Abbau erfolgt in zwei großen und zwei kleineren Revieren: Die beiden größeren sind das Rheinische Braunkohlerevier im Städtedreieck Köln – Aachen – Mönchengladbach (2014 ca. 94 Mio. t) und das Lausitzer Revier zwischen Cottbus und Dresden (2014 ca. 62 Mio. t), während das Mitteldeutsche Revier bei Halle/Leipzig (2014 ca. 21 Mio. t) und das Helmstedter Revier (2014 ca. 2 Mio. t) kleinere Fördermengen liefern. Die geologischen Vorräte werden bundesweit auf ca. 77 Mrd. t geschätzt (DEBRIV 2015). Das mit 55 Mrd. t größte Vorkommen findet sich im Rheinischen Revier auf eine Fläche von ca. 2.500 km² und reicht für die nächsten 30 Jahre (Knauff 1998: 19; Haas & Schlesinger 2010: 114; Wagner 2010; DEBRIV 2015). Die Anfänge des rheinischen Braunkohleabbaus liegen im Südrevier bei Köln-Hürth, in dem zunächst oberflächennah und bei einem geringen Abraum-Kohle-Verhältnis gefördert wurde. In den 1950er Jahren vollzog sich der Übergang zu wenigen Großtagebauen, in denen terrassenartig aus einer Teufe von bis zu 400 m gefördert wird und in denen durch ein wesentlich schlechteres Abraum-Kohle-Verhältnis größere Mengen Ton, Sand und Kies zu bewegen sind. Aktuell existieren drei große Tagebaue, die von der RWE Power AG betrieben werden: der Tagebau Garzweiler (2014: 35 Mio. t) im Norden wurde im Jahr 2006 in sein westlich gelegenes Anschlussfeld mit ca. 1 Mrd. t bis 2045 überführt, der Tagebau Inden (2014: ca. 18 Mio. t) im Südwesten ist bereits ein Jahr zuvor in sein südöstlich gelegenes Anschlussfeld mit 650 Mio. t bis zum Jahr 2030 übergegangen und der Tagebau Hambach (2014: ca. 41 Mio. t) im Südosten wird sich weiter in südöstliche Richtung bewegen und um das Jahr 2045 ausgekohlt sein (Pflug 1998a: 13f.; Henkel 2007; Kreus & von der Ruhren 2007; Haas & Schlesinger 2010: 114; Wagner 2010; RWE Power AG 2014, o.J.a; DEBRIV 2015).

Der Abbau wird von Schaufelradbaggern durchgeführt, die auf der Tagebauvorderseite täglich Braunkohle bzw. Abraum abtragen. Über ein kilometerlanges Förderbandsystem im Tagebau sind sie entweder mit einem Kohlebunker, in dem die Braunkohle zwischengelagert wird, oder mit Absetzbaggern auf der ausgekohlten Tagebaurückseite (Kippe) verbunden, die den nicht verwendbaren Abraum dort wieder zielgenau absetzen. Durch den Abbau auf der Vorder- und das Wiederauffüllen auf der Rückseite gerät der Tagebau mit der Zeit in Bewegung. Auf den Abbau vorbereitende sowie nachsorgende Maßnahmen sind weitere zentrale Schritte in der Operationskette des rheinischen Braunkohlebergbaus (Abbildung 2) (Knauff 1998: 24; Wagner 2010; RWE Power AG 2013c).

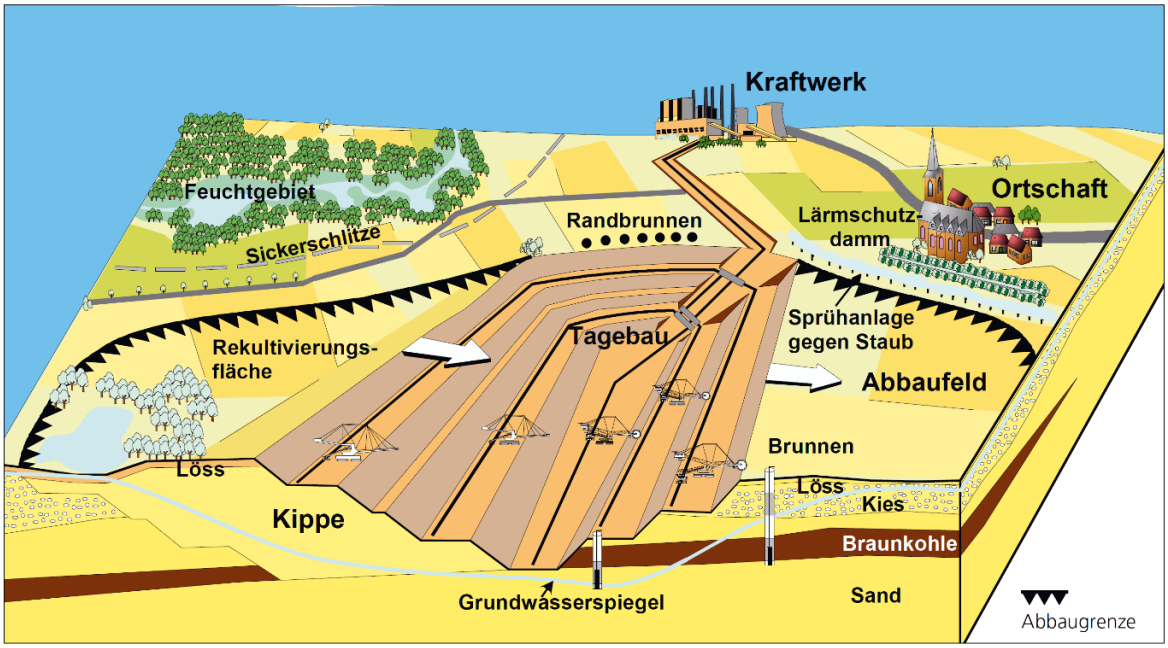


Abbildung 2: Schema eines rheinischen Braunkohletagebaus (DEBRIV 2015)

Vom Kohlebunker am Tagebaurand wird die zwischengelagerte Braunkohle entweder über Förderbänder oder mit werkseigenen Eisenbahnen zu nahe gelegenen Kraftwerken bzw. Veredlungsbetrieben transportiert. In ersteren werden jährlich rund 90% der Fördermenge für die Stromerzeugung im Grundlastbereich verfeuert: im Jahr 2014 lag der Beitrag zur nordrhein-westfälischen Stromerzeugung bei 40% und zur bundesdeutschen bei 25% (RWE Power AG 2013c; DEBRIV 2015). Die bei der Verbrennung entstehende Abwärme wird gemäß dem Prinzip der Kraft-Wärme-Koppelung in vergleichsweise geringen Mengen über ein unterirdisches Rohrsystem an benachbarte Haushalte und Industriebetriebe weitergeleitet (Wagner 2010; BUND NRW 2015). Rund ein Zehntel der geförderten Braunkohle wird in regionalen Veredlungsbetrieben zu Braunkohlestaub, Briketts, Wirbelschichtkohle bzw. Filterkoks weiterverarbeitet und v.a. in den Großfeuerungsanlagen energieintensiver Industrien eingesetzt (Westermann Verlag 2008; RWE Power AG 2009; Wagner 2010; DEBRIV 2015).

Ökonomische Aspekte

Die einheimischen Vorkommen besitzen eine große energiewirtschaftliche Bedeutung, da sie die Abhängigkeit Deutschlands bzw. der deutschen Industrie von Importen ausländischer Energieträger (DEBRIV 2015) bzw. von im Ausland produzierter Energie herabsetzen (Kreus & von der Ruhren 2007; RWE Power AG 2009). Die damit gewonnene Sicherheit bei der Energieversorgung hat unmittelbare volkswirtschaftliche Auswirkungen, da sie u.a. die Stabilität wettbewerbsfähiger Strompreise infolge der geringeren Anfälligkeit gegenüber hohen ausländischen Energiepreisen oder Energiepreisschwankungen sicherstellt. Außenpolitisch senkt eine hohe inländische Versorgung die Notwendigkeit zu Beziehungen zu politisch instabilen Exportstaaten. Vor dem Hintergrund der von der Bundesregierung veranlassten Beendigung des Steinkohlebergbaus bis zum Jahr 2018 (BMWI 2010) und des Ausstiegs aus der Atomkraft bis zum Jahr 2022 (Bundesregierung 30.05.2011) kommt der Braunkohle eine große energiewirtschaftliche Relevanz zu (Haas & Schlesinger 2010: 121; Wagner 2010; DEBRIV 2015). Hierbei spielt u.a. die i.d.R. als subventionsfrei empfundene Art der Energiegewinnung eine zentrale Rolle, die als ein vorteilhafter energiewirtschaftlicher Faktor für die internationale Wettbewerbsfähigkeit des kostenintensiven Wirtschaftsstandortes Deutschland gesehen wird (Knauff 1998: 19f.; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; RWE Power AG 2009; Haas & Schlesinger 2010: 113; Wagner 2010; DEBRIV 2015).

Regional bzw. national ergeben sich des Weiteren (in-)direkt bedeutende volkswirtschaftliche Effekte auf dem Arbeitsmarkt (Kreus & von der Ruhren 2007). Ende 2014 sind 10.146 Personen im Rheinischen Revier angestellt gewesen; bundesweit lag die Zahl bei 21.406 (DEBRIV 2015). Nach Buttermann et al. (2010) betrug die Beschäftigungswirkung im Jahr 2009 in Summe 41.816 Personen im Rheinland bzw. 86.424 Personen im Bundesgebiet, weshalb der Braunkohlebergbau den größten industriellen Arbeitgeber in der Region darstellt (DEBRIV 2015). Aus den Einkommen der Beschäftigten ist eine regionale Konsumnachfrage in Höhe von 321 Mio. Euro generiert worden. Zusammen mit Investitionen in den Produktionsprozess aufrechterhaltende Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, in die Bewahrung, Vergrößerung und Modernisierung des gesamten Produktionssystems sowie in den Vollzug von umsiedlungsbedingten Maßnahmen ist ein regionaler Nachfrageimpuls in Höhe von fast 2 Mrd. Euro generiert worden. Von diesem Beitrag zur Wertschöpfung haben die regionale Wirtschaft und Bevölkerung sowie der Fiskus profitiert (Kreus & von der Ruhren 2007; Buttermann et al. 2010; DEBRIV 2015). Bundesweit trägt die Stromerzeugung aus Braunkohle jährlich mit ca. 6 Mrd. Euro zur Wertschöpfung bei (DEBRIV 2015). Des Weiteren ökonomisch bedeutsam ist die anziehende Wirkung auf energieintensive Industrien (Haas & Schlesinger 2010: 107). Ein weiterer Effekt betrifft die Neu- bzw. Weiterentwicklung von exportfähigem technischem Knowhow im Bereich der Förderung und Verstromung (Kreus & von der Ruhren 2007).

Ökologische Aspekte

Der Abbau im offenen Tagebau stellt einen schwerwiegenden Eingriff in das Gefüge (Kreus & von der Ruhren 2007) und den Naturhaushalt (Bauer 1998: 171) der über Jahrhunderte gewachsenen rheinischen Kulturlandschaft dar, der temporäre Mondlandschaften (vgl. Wagner 2010: 28) entstehen lässt. Der flächenintensive Eingriff geht mit einer Vielzahl von Nutzungskonflikten einher (Haas & Schlesinger 2010: 118). Der weitaus größte Konflikt geht auf die Förderung selbst zurück: Seit den Anfängen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden im Rheinland 322 km² Land in Anspruch genommen; im Dezember 2014 unterlagen rund 95 km² (ca. 29%) der bisher beanspruchten Fläche einer tagebaulichen Nutzung (DEBRIV 2015). Mit einer Betriebsfläche von ca. 42 km² bei einer Teufe von fast 400 m stellt der Tagebau Hambach nach Wagner (2010) gegenwärtig die größte künstliche Eintiefung der Welt dar, während Garzweiler (ca. 31 km²) und Inden (ca. 17 km²) gleichfalls tiefe Einschnitte in der Landschaft darstellen (RWE Power AG 2013b, 2014, 2015b, 2015c, 2015d).

Mit dem Abbau im Tagebau sind massive Eingriffe in das Landschaftsbild und den lokalen/regionalen Naturhaushalt verbunden. Vor dem Beginn der Fördertätigkeit wird das kohlehaltige Areal an der Erdoberfläche vollständig freigeräumt. Dies betrifft u.a. die Entfernung von fruchtbaren Ackerböden mit gewachsenen Bodenprofilen sowie von Wäldern, Wiesen und Weiden, Feuchtgebieten und anderen naturnahen Flächen. Mit dem notwendigen Eingriff in die über Jahrhunderte gewachsene Kulturlandschaft gehen neben agrarisch hochwertigen Flächen ebenso für die lokale Flora und Fauna ökologisch wertvolle und mitunter unverzichtbare Areale (ökologische Nischen) unwiderruflich verloren. Der Braunkohlebergbau steht als invasive Tätigkeit per se in einem Widerspruch zu den gesetzlich festgelegten Zielen von Naturschutz und Landschaftspflege (Pflug 1998b: 5f.; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008). Mit der Förderung im Tagebau Inden ist zudem die Umleitung eines Nebenflusses der Rur notwendig geworden (RWE Power AG 2014).

Neben den oberirdischen Eingriffen ist angesichts der großen Teufen eine Entwässerung der hängenden Schichten notwendig. Die über eine Vielzahl von Brunnen entlang der Tagebauränder durchgeführte Grundwasserentnahme (Sümpfung) bis unter die Tagebausohle stellt eine erforderliche Maßnahme dar, um den Abbau im trockenen Zustand durchzuführen. Darüber hinaus dient dies der Stabi-

lisierung von Böschungen (Knauff 1998: 25; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; Haas & Schlesinger 2010: 106; BUND NRW 2015). In der Vergangenheit sind auf diese Weise jährlich bis zu 1 Mrd. m³ trinkfähiges Grundwasser künstlich abgepumpt worden (Knauff 1998: 25; Wagner 2010; BUND NRW 2015). Durch die Entnahme kommt es in Abhängigkeit zu den „*tektonischen (Verwerfungen, Schollenbildung) und stratigraphischen (Schichtung, Durchlässigkeit, Stockwerksgliederung) Strukturen des Untergrundes*“ (Westermann Verlag 2008: 81) zu einer trichterförmigen Absenkung des regionalen Grundwasserspiegels auf einer Fläche von ca. 3.000 km² (Knauff 1998: 25; BUND NRW 2015). Ohne Gegenmaßnahmen würde dies zu einer Gefährdung der grundwassergespeisten Trink-/Brauchwasserversorgung in der Niederrheinischen Bucht und zu gravierenden ökologischen Folgen bei grundwasserabhängigen Feuchtgebieten/-biotopen und fließgewässerbegleitenden Auen führen, die durch temporäres Austrocknen gefährdet wären. Im Bereich der Flora und Fauna kann eine Absenkung um wenige Meter besonders bei an die regulären hydrologischen Bedingungen sehr stark angepassten Arten bereits spürbare Auswirkungen in der Artenzusammensetzung zur Folge haben und die Biodiversität der betroffenen Habitate erheblich beeinträchtigen (Knauff 1998: 25; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; Haas & Schlesinger 2010: 106; BUND NRW 2015). Um die ökonomischen (Trink-/Brauchwasserversorgung) wie ökologischen Konsequenzen zu minimieren, wird das entnommene Grundwasser gezielt durch Versickerung/Direkteinleitung in natürliche oder künstliche Vorfluter dem regionalen Wasserhaushalt wieder zugeführt (Knauff 1998: 25; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; Wagner 2010; BUND NRW 2015). Fechtgebiete/-biotope sind auf diese Weise über Jahrzehnte hinweg von einer künstlichen Wasserzufuhr abhängig (BUND NRW 2015). Der Eingriff in den Wasserhaushalt hat Auswirkungen auf die Grundwasserqualität, u.a. durch Versauerung, Mineralienanreicherung und ungehindertes Eindringen von Nitraten und Pestiziden in tiefere Grundwasserschichten. Ein weiteres Problem sind mit dem Abraum an die Erdoberfläche gebrachte Sulfide, die durch Oxidationsprozesse zu einer Versauerung der Böden und des Grundwassers führen können (BUND NRW 2015). Gewässertrübungen durch bergbaulich eingetragene Schwebstoffe werden kontinuierlich überprüft (Kreus & von der Ruhren 2007; Haas & Schlesinger 2010: 106).

Der Abbau ist besonders an trockenen, windigen Tagen mit der Aufwirbelung größerer Staubmengen verbunden, deren Volumen angesichts fehlender Messmethoden bis heute nicht ermittelt wurden. Lange Zeit gelangten daher möglicherweise große Mengen an gesundheitsschädlichem Feinstaub ungeachtet in die Atmosphäre (BUND NRW 2015). Als Immissionsschutzmaßnahmen dienen Erdwälle, um den Staub in höhere Atmosphärenschichten zu dirigieren, die Begrünung von Flächen/Böschungen und Beregnungsmaschinen/Sprühgalerien zur Benässung. Durch die technischen Großgeräte verursachte Lärmemissionen werden mittels Dämpfungsmaßnahmen abgemildert (Westermann Verlag 2008; RWE Power AG 2008a, 2013b, 2013c).

Weltweit gilt der rheinische Braunkohlebergbau in Bezug auf den Umgang mit ausgekohlten Arealen unter Fachexpert/innen als vorbildlich (RWE Power AG 2009). Grund hierfür ist eine nach dem Verursacherprinzip (Pflug 1998b: 6; Haas & Schlesinger 2010: 108) seit vielen Jahrzehnten betriebene Rekultivierungspraxis, bei der die Landschaft nicht wie zuvor wiederhergestellt, sondern „*die in Anspruch genommene Oberfläche wieder so herzurichten* [versucht wird; Anm. des Autors]*, dass eine Landschaft entsteht, die sich zu einem stabilen, in einem Gleichgewicht stehenden Ökosystem entwickelt, die sich in das umliegende Gelände einpasst und gleichzeitig den Bedürfnissen der hier wohnenden und wirtschaftenden Menschen gerecht wird.*“ (Kreus & von der Ruhren 2007: 9). Der nutzungsorientierten Rekultivierung steht die Renaturierung gegenüber, deren Ziel es ist, „*Rohböden oder Vegetationsbestände sich weitgehend ohne Zutun des Menschen möglichst naturnah entwickeln zu lassen*.“ (Pflug 1998b: 3). Letztere ist für den Naturschutz bedeutsam, da sie u.a. Rückzugsräume

und Sukzessionsflächen bereitstellt und Biotopvielfalt ermöglicht (Bauer 1998: 174ff.). Angesichts des anthropogenen Charakters der geschaffenen Kunstlandschaften (Wagner 2010) setzt die anvisierte Renaturierung jedoch tatsächlich erst nach mehreren Jahrzehnten ein, wenn ausgeglichene natürliche Prozesse wieder vorherrschen. Unter der Zielsetzung von Rekultivierung/Renaturierung sind von den 322 km² bis Ende 2014 bereits 227 km² (ca. 70%) wieder rekultiviert worden, v.a. landwirt- und forstwirtschaftlich; etwa 25 km² sind zu Naturschutzgebieten geworden (Wagner 2010; DEBRIV 2015). Der Rekultivierungsprozess setzt unmittelbar nach Abbauende auf der ausgekohlten Tagebaurückseite ein und ist das Resultat eines langwierigen und von unterschiedlichen Akteuren vielfach kontrovers diskutierten Genehmigungsverfahrens. Heutzutage wird bevorzugt eine gemischte Rekultivierung praktiziert (Kreus & von der Ruhren 2007; Haas & Schlesinger 2010: 108; Wagner 2010; RWE Power AG 2013a). Landschaftlich markantestes Zeichen der Abbau-/Rekultivierungstätigkeiten ist eine aus rund 1 Mrd. m³ Abraum aus dem Tagebau Hambach auf etwa 300 m Höhe aufgeschüttete und großflächig mit künstlichen Forsten besetzte anthropogene Vollform (Sophienhöhe). Ihr folgen zahlreiche Restseen, die u.a. im Naherholungsgebiet des Naturparks Kottenforst-Ville am Rande des Köln-Bonner Verdichtungsraums zu finden sind (Westermann Verlag 2008): Das durch Auskohlung hervorgerufene Massendefizit bedingt riesige Restlöcher, die entweder entsorgungswirtschaftlich genutzt werden (Kippflächen/Deponien) oder aus denen durch eine künstlich beschleunigte Befüllung dauerhaft große, funktional genutzte Seen, z.B. als Speicher für den Hochwasserschutz oder für die Versorgung mit Brauchwasser, hervorgehen (Knauff 1998: 26; Westermann Verlag 2008; Haas & Schlesinger 2010: 109; Wagner 2010; BUND NRW 2015). Nach der Auskohlung der drei noch aktiven Tagebaue werden diese gleichfalls zu Seen aufgestaut (RWE Power AG 2013b, 2013c, 2014). Vom Tagebau Garzweiler wird dann ein großer See übrigbleiben, dem voraussichtlich in den nächsten 300 – 400 Jahren künstlich Wasser zugeführt werden muss (Henkel 2007; BUND NRW 2015).

Die Verbrennung der Braunkohle ist mit dem massiven Ausstoß von Treibhausgasen verbunden. Dies betrifft v.a. klimaschädliches Kohlendioxid (CO_2), dessen Emissionsfaktor größer als bei Steinkohle oder Erdgas ist (DEBRIV 2015). Im Jahr 2014 sind bundesweit 175 Mio. t CO_2 (DEBRIV 2015), davon rund 90 Mio. t CO_2 im Rheinland (BUND NRW 2015), in die Atmosphäre freigesetzt worden. Dies entspricht etwa einem Fünftel bzw. einem Zehntel der bundesdeutschen Emissionen in CO_2-Äquivalenten (UBA 2015). Bezogen auf die Emissionen der Energiewirtschaft verbucht Braunkohle hinter Mineralöl und vor Erdgas/Steinkohle den zweithöchsten Anteil (DEBRIV 2015). Diese Emissionen stellen die Energieerzeugung aus Braunkohle in Zeiten des globalen Klimawandels in der Öffentlichkeit vor die grundsätzliche Frage der Daseinsberechtigung. Während es der Braunkohleindustrie gelungen ist, Luftverunreinigungen durch Entstaubungs-, Entschwefelungs- und Entstickungsmaßnahmen bis unter gesetzlich festgelegte Grenzwerte zu senken (RWE Power AG 2009; Haas & Schlesinger 2010: 121; DEBRIV 2015), ist die CO_2-Thematik nicht nur ökologisch, sondern angesichts des notwendigen Ankaufs von Emissionszertifikaten zunehmend auch ökonomisch problematisch für die Branche. Auf diese Entwicklung wird verstärkt mit technologischen Lösungen reagiert, die sich u.a. auf die Kraftwerkseffizienz, die Nachrüstung älterer Anlagen und spezielle Emissionsminderungsverfahren abzielen (RWE Power AG 2008b, 2008c, 2009, 2015a; Haas & Schlesinger 2010: 121; Wagner 2010; DEBRIV 2015). Die realisierten Maßnahmen und Ansätze reichen allerdings aktuell angesichts der weiterhin hohen Emissionen nicht aus, um den politisch beschlossenen Emissionsminderungszielen Deutschlands gerecht zu werden (UBA 2013).

Gesellschaftliche Aspekte

Die Freiräumung des Tagebauvorfeldes ist mit tiefen Eingriffen in die gewachsenen Siedlungsstrukturen und das Leben der Bevölkerung im dicht besiedelten Rheinland verbunden (Knauff 1998: 26; Pflug 1998b: 1; Henkel 2007; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; Wagner 2010; RWE Power AG o.J.b). Die tiefgreifendsten und schwerwiegendsten Auswirkungen gehen aus Umsiedlungen hervor, die neben Siedlungen weitere raumnutzende Akteure wie Landwirtschafts-, Gewerbe- und Industriebetriebe betreffen (Knauff 1998: 26; Kreus & von der Ruhren 2007; RWE Power AG o.J.b; Haas & Schlesinger 2010: 106). Seit 1945 sind in der dicht besiedelten Niederrheinischen Bucht 35.000 Menschen umgesiedelt worden (Kreus & von der Ruhren 2007; RWE Power AG 2013b, o.J.b; BUND NRW 2015). Nach aktuell genehmigten Abbauplänen kann bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts von einem Anstieg auf ca. 45.000 Personen ausgegangen werden (Wagner 2010; BUND NRW 2015). Die Umsiedlung einer Ortschaft mit bis zu mehreren Tausend Einwohnern folgt einem langwierigen Planungs-/Umsetzungsprozess. Die ersten Jahre dienen dabei der Findung eines neuen Standortes (RWE Power AG o.J.b; DEBRIV 2015). In diesem Zusammenhang kommt es häufig zu einer Zusammenfassung der in der Siedlungsstruktur verbreiteten Ortschaften, Weiler und Einzelhöfe zu zentralen Orten und es erfolgt ein Anschluss an bereits existierende Siedlungen (Westermann Verlag 2008). Das Ziel besteht in dem Versuch einer möglichst sozialverträglichen Umsiedlung, bei der Gemeinschaften als Ganzes umgesiedelt werden (Knauff 1998: 26; DEBRIV 2015; RWE Power AG o.J.b). In der Praxis gelingt dieser Ansatz nach Wagner (2010) und BUND NRW (2015) nur selten und endet vielfach in der Auflösung bestehender Sozialstrukturen (Dorfgemeinschaft, Nachbarschaft, Vereinsleben etc.). Die Umsiedlung bezieht sich für die betroffenen Anwohner zum einen auf materielle Gesichtspunkte wie die Frage nach einer (gemäß dem geschätzten Verkehrswert) angemessenen finanziellen Entschädigung des Alteigentums und den eigenen finanziellen Aufwendungen für ein neues Eigentum; für die Betroffenen bietet sich hierbei die Gelegenheit, das Altanwesen gegen ein oftmals attraktiveres Neuanwesen (unter finanzieller Selbstbeteiligung) einzutauschen (Kreus & von der Ruhren 2007). Zum anderen besteht die Gefahr negativer Auswirkungen auf sozialer Ebene, die u.a. mit dem Verlust des vertrauten Lebensraums, d.h. dem Gefühl der Entwurzelung (Heimatverlust) und des Traditionsverlustes verbunden sind (Knauff 1998: 26; Pflug 1998b: 1; Kreus & von der Ruhren 2007; RWE Power AG o.J.b). Zudem nimmt die wohnliche Attraktivität und Lebensqualität vieler Siedlungen bereits vor ihrer endgültigen Auflösung ab (Haas & Schlesinger 2010: 107).

Angesichts der in mächtigen, nährstoffreichen Lössplatten entstandenen Parabraunerden erweist sich die Niederrheinische Bucht als eine der landwirtschaftlich ertragreichsten Regionen Deutschlands (Sihorsch 1998: 121; BUND NRW 2015; DEBRIV 2015). Landwirtschaftliche Rekultivierung ist hier von besonderer Bedeutung (Pflug 1998a: 14). Ausgehend von einer seit vielen Jahrhunderten betriebenen Kultivierung der Lössböden ist mit der Zeit eine kapitalintensive, marktorientierte Landwirtschaft mit überdurchschnittlich großen Agrarbetrieben entstanden, an die eine Nahrungs-/Genussmittelindustrie gekoppelt ist (Westermann Verlag 2008). Durch den Braunkohlebergbau gehen die fruchtbaren Böden der Bördenlandschaft unwiderruflich verloren. In den ausgekohlten Arealen wird bei der Rekultivierung zunächst eine siebenjährige Zwischenbewirtschaftung auf den mit Löss wieder aufgeschütteten Flächen betrieben. Ziel ist die Anregung natürlicher Bodenbildungsprozesse. Im Vergleich zu den natürlich entstandenen Böden ist die Fruchtbarkeit mit Blick auf die rheinische Fruchtfolge nach Sihorsch (1998: 125) ähnlich, während gemäß BUND NRW (2015) dauerhaft eingeschränkte Nutzungsmöglichkeiten bestehen. Bei der Rekultivierung wird neben der land-/forstwirtschaftlichen auch die Freizeit-/Erholungsnutzung berücksichtigt und in die Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft integriert. Dies hat zu einem umfangreichen Netz an Radfahr-, Reit- und Wanderwegen innerhalb einer abwechslungsreich angelegten und mit Badeseen durchsetzten Landschaft geführt (Rümler 1998: 160ff.).

Ebenfalls erheblich beeinflusst wird die lokale Verkehrsinfrastruktur mit ihrem dichten Verkehrsnetz (Westermann Verlag 2008), die angesichts der räumlichen Dynamik der Tagebaue stetig mit der Notwendigkeit zur Verlegung von Eisenbahntrassen, Bundes- und Landstraßen sowie Autobahnen konfrontiert ist (Knauff 1998: 26; RWE Power AG 2013b; Kreus & von der Ruhren 2007).

Mit den Abbautätigkeiten gehen archäologische Zeugnisse, die eine jahrtausendealte Siedlungsgeschichte im Rheinland belegen, verloren, da nur ein geringer Teil der Stätten vor ihrem Verlust entdeckt und archäologisch dokumentiert werden kann (Kreus & von der Ruhren 2007; BUND NRW 2015).

In Abhängigkeit zu den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen sind im näheren Tagebauumfeld in der Vergangenheit wiederholt Bodenabsenkungen aufgetreten, die auf die großflächige Absenkung des Grundwasserspiegels zurückzuführen sind (Westermann Verlag 2008; BUND NRW 2015). Absenkungen erfolgen i.d.R. gleichmäßig auf einer Fläche, können bei tektonischen Störungen im Untergrund sowie im Bereich von Flussauen jedoch infolge des ungleichmäßigen Absackens zu Bergschäden, d.h. zu Rissen an Gebäuden, Straßen u.a. Einrichtungen führen (Knauff 1998: 25; Kreus & von der Ruhren 2007; Westermann Verlag 2008; Wagner 2010; BUND NRW 2015).

Bedeutung der Thematik für die BNE und den nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht

Der Braunkohleabbau besitzt über den Geographieunterricht (vgl. von der Ruhren 1997; Zeitler 2005; Ernst Klett Verlag GmbH 2007b; Henkel 2007; Kreus & von der Ruhren 2007; Schacht 2009; Jahn et al. 2010; Kaminske 2010; Sander & Dumbeck 2012; Brühne & Tempel 2015) hinaus eine unmittelbare Relevanz für die BNE (Tabelle 3 und Tabelle 4) und ist für die gesellschaftspolitische Debatte um eine NE in Deutschland von großer Bedeutung[9]. Sein umfassendes Verständnis setzt eine tiefgreifende Analyse der mit ihm einhergehenden Raumnutzungskonflikte und Auswirkungen voraus.

Tabelle 3: Inhaltlicher Bezug des Braunkohleabbaus zu den drei Bezugsdimensionen für Lerninhalte

Bezugsdimensionen mit inhaltlichem Bezug des Braunkohleabbaus
Inhaltliche Dimension: Über die technischen Grundlagen des Abbaus und der Verstromung hinaus ist die Thematik gekennzeichnet durch eine Vielfalt an unterschiedlichen inhaltlichen Aspekten aus den Bereichen Wirtschaft (u.a. Bedarf nach Energieversorgung, Arbeitsplätze, volkswirtschaftliche Effekte), Umwelt (u.a. Verlust natürlicher Flächen, Umlegung von Gewässern, Grundwasserabsenkung, Rekultivierung bzw. Renaturierung) und Gesellschaft (u.a. Umsiedlung, Bergschäden, Arbeitsplätze), die häufig zueinander in Wechselbeziehung stehen und mit unterschiedlichen Interessen verschiedener Akteure verbunden sind (Perspektivenvielfalt).
Räumliche Dimension: Während der Abbau und die Verstromung und eine Vielzahl der mit ihnen verbundenen Auswirkungen lokalen Maßstabs sind, greifen Aspekte wie die Energieversorgung, die volkswirtschaftlichen Effekte, die großflächige Absenkung des Grundwasserspiegels und ihre Folgen sowie die umsiedlungsbedingte Abwanderung von Anwohnern auf die regionale bzw. nationale Ebene über. Darüber hinaus leitet das durch den Treibhausgasausstoß der Kraftwerke mit verursachte Phänomen des weltweiten Klimawandels schließlich über auf die globale Maßstabsebene.
Zeitliche Dimension: Der Abbau und die Verstromung stellen eine vergleichsweise langfristig gesteuerte energiewirtschaftliche Tätigkeit dar, deren Ursprünge im Rheinischen Revier rund 150 Jahre zurückliegen. Die gegenwärtigen Planungen sehen einen Abbau bis in die Mitte des 21. Jahrhunderts vor. Die Beseitigung von Altlasten sowie nachsorgende Maßnahmen und mögliche Folgeerscheinungen können sich u.U. bis weit über diesen Zeitraum hinaus erstrecken.

[9] Deutlich wird dies u.a. an der im Rahmen der Sammlung *Werkstattmaterialien Bildung für eine nachhaltige Entwicklung* des BLK-Programms "21" von Zeitler (2003) ausgearbeiteten Handreichung. Mit ihr liegt ein erstes umfassendes Beispiel für eine inter-/transdisziplinäre Erarbeitung der Thematik in der Klassenstufe 11 vor.

Tabelle 4: Der Braunkohleabbau im Lichte der Auswahlkriterien für die Selektion von Lerninhalten

Inhaltlicher Bezug des Braunkohleabbaus zu den Auswahlkriterien
Orientierung am Leitbild einer NE: Die Möglichkeit zur dimensionsübergreifenden Auseinandersetzung ergibt sich aus der Vielfalt an ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlich Aspekten. Der gegenwärtige gesellschaftlich-politische Diskurs über die vollständige Einstellung des Abbaus (BUND NRW 2015) oder dessen Fortführung im Rahmen der CO_2-Speicherung (RWE Power AG 2008b, 2008c, 2015a; DEBRIV 2015) als Brückentechnologie (vgl. BMWI 2010) steht in Verbindung mit der Abwägung möglicher Lösungsansätze für eine nachhaltig(er)e Gestaltung.
Langfristige Bedeutung: Die langfristige Bedeutung ergibt sich aus der intergenerationellen Frage nach der Endlichkeit fossiler Energieträger, dem Übergang zu einer zukunftsfähigen Energieversorgung, (den Kosten) der Bekämpfung der Folgen des durch den Treibhausgasausstoß bei der Braunkohleverfeuerung verursachten Beitrags zum Klimawandel oder nach (den Kosten) der Beseitigung von Altlasten sowie zukünftigen Folgeerscheinungen und notwendigen Gegenmaßnahmen.
Differenzierte Wissensgrundlage: Für ein angemessenes Verständnis bedarf es einer breit angelegten, inter-/transdisziplinären Wissensbasis. Im Zuge des Kennenlernens der Thematik und des mit ihr verbundenen Spannungsfeldes zwischen den energie-/volkswirtschaftlichen Interessen, Belangen und Nutzen auf der einen Seite und den ökologischen wie gesellschaftlichen Auswirkungen auf der anderen Seite (Kreus & von der Ruhren 2007) erfolgt eine Konfrontation mit divergierenden Akteursinteressen. Gemäß persönlichen Erfahrungen und Auffassungen können sich dabei in Anlehnung an den realen gesellschaftlich-politischen Diskurs individuell unterschiedliche Meinungen herausbilden, die entweder wirtschaftlichen bzw. gesellschaftlichen Interessen einen Vorrang geben oder dem Grundsatz des Schutzes von Natur und Umwelt bzw. der Unverletzlichkeit des persönlichen Eigentums.
Handlungspotenzial: Auch wenn der Thematik ein Diskurs auf gesellschaftlich-politischer Ebene bzw. eine (scheinbar) ausschließliche Bedeutsamkeit für eine bestimmte Region in Deutschland zugrunde liegt, eröffnen sich in ihrem Rahmen dennoch grundsätzliche Handlungsmöglichkeiten. Diese können sich äußern in der persönlichen Beteiligung an der Eruierung von Stromeinsparpotenzialen oder an aktiven Stromsparmaßnahmen. Ebenfalls kann der Wechsel zu einer vollständig aus den Erneuerbaren Energien gespeisten Stromversorgung durch sie angeregt/forciert werden. Des Weiteren bestehen Möglichkeiten, sich einzeln oder in der Gruppe/Klasse aktiv am öffentlichen Diskurs zu beteiligen.
Lebensweltbezug und globale Weltsicht: Über den Stromverbrauch kann einer erste lebensweltbezogene Auseinandersetzung mit der Thematik erfolgen, an die sich Fragen nach der Art und dem Ausmaß der Energieversorgung im öffentlichen wie privaten Raum anschließen können. Der Brückenschlag zur globalen Ebene steht v.a. im Zusammenhang mit den klimatischen Auswirkungen der Verfeuerung fossiler Energieträger, den klimatischen Folgen der Einstellung oder Fortführung der Braunkohleverstromung sowie den damit verbundenen außenpolitischen Implikationen (Vorbildfunktion/Vorreiterrolle des Hightech-und Erneuerbare-Energien-Standortes Deutschland).
Förderung von selbstorganisiertem Lernen und Perspektivenwechsel: Selbstorganisiertes Lernen kann nicht durch eine Thematik selbst angestoßen/gefördert werden, sondern bedarf eines entsprechenden didaktischen Settings, z.B. der Anwendung bestimmter Unterrichtsprinzipien, sowie einer gewissen Erfahrung der Lernenden mit diesem Unterrichtskonzept. In der Handreichung von Zeitler (2003) werden Handlungsspielräume geboten, sich der Thematik problemorientiert selbstständig bzw. in Gruppen zu nähern, wobei die Thematik bereits per se den Ansatz des Perspektivenwechsels begünstigt bzw. sogar erforderlich macht, um zu einem umfassenden Verständnis zu gelangen.
Relevanz für die Bildungsziele der Lernenden: Im Zuge der Thematik erfolgt die Einführung in einen realen gesellschaftlich-politischen Diskurs, der unmittelbare Lebensweltbezüge aufweist und konkretes Handlungspotenzial bietet. Unter diesen Voraussetzungen wird ein Ansatzpunkt für ein an reale Gegebenheiten angebundenes (authentisches) Lernen geboten. Der Erfolg dieses Lernprozesses hängt jedoch zu einem erheblichen Anteil auch vom persönlichen Interesse an der Thematik ab.
Kompetenzbezug (BNE-spezifische und fachspezifische Kompetenzen) **BNE-spezifische Kompetenzen**: Bei der Auseinandersetzung lassen die meisten, der in Kapitel 2.1.3.1 erwähnten inhaltlichen Schwerpunktsetzungen für Lernziele der BNE, darunter auch das systemische Denken, innerhalb eines entsprechenden didaktischen Settings ansprechen und fördern. **Fachspezifische Kompetenzen**: Die Auseinandersetzung im Geographieunterricht erstreckt sich über eine große Spannweite der ausgewiesenen sechs Kompetenzbereiche des Faches (vgl. DGfG 2012): die Wissensaneignung erfolgt über eine breite Vielfalt an methodischen Herangehensweisen sowie mitunter im Zuge einer räumlichen Verortung. Zudem gilt es Inhalte zu kommunizieren. Das Ziel der Auseinandersetzung besteht in der Beurteilung bzw. Bewertung der Thematik, u.a. im Hinblick auf den Beitrag zu einer NE, und äußerst selten in einer aktivierenden Anregung zum eigenen Handeln (vgl. u.a. von der Ruhren 1997; Zeitler 2005; Ernst Klett Verlag GmbH 2007b; Henkel 2007; Kreus & von der Ruhren 2007; Schacht 2009; Jahn et al. 2010; Kaminske 2010; Sander & Dumbeck 2012; Brühne & Tempel 2015).

Im Kontext der beiden vorangegangenen Tabellen lässt sich die Eignung der Thematik des Braunkohleabbaus als Lerninhalt der BNE deutlich erkennen. Nach de Haan et al. (2008) handelt es sich in Anlehnung an die Definition von Gruber & Mandl (1996: 587) um eine schlecht definierte Domäne, die u.a. durch Komplexität und Unschärfe geprägt ist.

2.1.5 Zusammenfassung und Fazit

Vor dem Hintergrund der funktionalen Auslegung des Bildungsbegriffs ist das Konzept der BNE als ein Ansatz zur Befähigung von Individuen/Gesellschaften ausgelegt, an der Realisierung von Nachhaltigkeitszielen aktiv teilhaben zu können. Um die Verwirklichung des Zustandes der Nachhaltigkeit über eine NE zu erreichen, bedarf es eines angemessenen Verständnisses des komplexen, dynamischen Wesens von nicht nachhaltigen Entwicklungen. Dies erfordert eine holistisch-integrative Betrachtung von Wirklichkeitsbereichen als raumzeitlich verortete Beziehungsgeflechte bestehend aus den drei Nachhaltigkeitsdimensionen, die auf systemischem Denken fußt und in ihm kulminiert. Angesichts des zugrundeliegenden Systemkonzepts besitzt das Fach Geographie eine hohe inhärente Neigung zu einer derartigen Betrachtungsweise: Die Förderung systemischen Denkens stellt ein methodisches Prinzip des Geographieunterrichts dar und zielt als fachspezifischer Beitrag zur BNE darauf ab, das System Erde bzw. das Mensch-Umwelt-System zu verstehen und Mensch-Umwelt-Beziehungen in ihrer Räumlichkeit und Zeitlichkeit inhaltlich analysieren zu können.

Da systemisches Denken situations-/kontextgebunden erfolgt, bedarf es nachhaltigkeitsrelevanter Lerninhalte, über die nachhaltigkeitsrelevante Lernziele wie das systemische Denken erreicht werden können. Von ihren Inhalten her weisen die Themen Rohstoffe und Energie, die beide im Braunkohleabbau ihre Zusammenführung finden, einen zentralen Stellenwert für die inhaltliche Ausgestaltung der BNE hierzulande auf und sind zugleich für den Geographieunterricht relevant.

Um das Konstrukt systemisches Denken inhaltlich besser zu verstehen und einzelne Fähigkeiten/Kompetenzen zu identifizieren, die sich für seine Operationalisierung eignen, bedarf es im Anschluss eines Einblicks in die Erkenntnisse dieses Forschungsbereichs, auf die in der BNE unmittelbar Bezug genommen wird (vgl. u.a. BLK 1998; Sommer 2005; Rieß & Mischo 2008: 216; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 111; Bräutigam 2014).

2.2 Systemisches Denken

„Systems thinking is widely considered essential in the effective management of complex dynamic systems at the core of problems such as poverty, environmental degradation, and climate change."
(Sweeney & Sterman 2000: 285)

Die Förderung systemischen Denkens hat in der formalen Bildung seit mehr als einem Jahrzehnt eine wachsende Bedeutung erlangt (Booth Sweeney & Sterman 2007). Systemisches Denken stellt nach Forrester (2007) einen ersten Schritt auf dem Weg zu einem umfassenderen systemdynamischen Verständnis dar und ist in den USA (Forrester 2007) sowie in Deutschland und Österreich (Ossimitz 1996: 284) bereits unterrichtlich behandelt und gefördert worden. Hierzulande ist es neben dem Geographieunterricht (vgl. Kapitel 2.1.3.2) konzeptueller Ausgangspunkt für Erschließungsprozesse im Biologie- (KMK 2004a) und Physikunterricht (KMK 2004b). Zudem ist es im schulischen Kontext wiederholt Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen in den Geowissenschaften (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Viehrig 2015), in der Biologie (Sommer 2005; Hildebrandt 2006; Sommer & Lücken 2010; Brandstädter et al. 2012; Bräutigam 2014) und im fächerübergreifenden Zusammenhang (Bertschy 2007, 2008) gewesen. Erschließungsgrundlage ist das Systemkonzept, das in Kapitel 2.2.1 vorgestellt wird. Im Anschluss daran werden Konzepte/Modelle vorgestellt, aus deren Vergleich heraus spezifische systembezogene Fähigkeiten/Kompetenzen abgeleitet werden (Kapitel 2.2.2). Es schließen sich Förderungsmöglichkeiten (Kapitel 2.2.3) und Ansätze zur Externalisierung für die wissenschaftliche Erhebung (Kapitel 2.2.4) an. Den Abschluss bilden Zusammenfassung und Fazit (Kapitel 2.2.5).

2.2.1 Systemkonzept

In der Systemtheorie stellt der Systembegriff das Basiskonzept zur Erfassung und Deskription von Wirklichkeitsbereichen dar. Die Identifikation als System basiert auf allgemein gültigen Sachverhalten und funktional-strukturellen Gesetzmäßigkeiten (Klaus 1985; Köck 1985; Rempfler & Uphues 2011: 38). Systeme können auf unterschiedlichen Hierarchieebenen verortet sein und sich in Subsysteme untergliedern (Hildebrandt 2006). Sie sind gekennzeichnet durch konstitutive Merkmale (Abbildung 3) wie die Systemgrenze, die bei biologischen oder technischen Systemen wohldefiniert ist und diese klar von ihrer Systemumwelt trennt. Bei sehr großen physisch-materiellen Einheiten wie z.B. Ökosystemen und v.a. bei immateriellen Gebilden ist eine klare Abgrenzung wesentlich schwieriger und daher ein Stück weit „*vom Interesse oder der Fragestellung der Betrachtenden abhängig*" (Frischknecht-Tobler et al. 2008: 13). Derartige Systeme stellen gedankliche Konstrukte mit Modellcharakter[10] dar, die „*unter bestimmten Aspekten und Erkenntnisinteressen und entsprechenden Interpretationen*" (Rhode-Jüchtern 2001: 5) zustande gekommen sind (Klaus 1985; Bossel 2004; Sommer 2005; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 14; Rempfler & Uphues 2010, 2011: 38; Bräutigam 2014).

[10] Im wissenschaftlichen Kontext stellen Modelle eine gegenüber dem Original generalisierte Rekonstruktion dar. Obwohl sie für einen bestimmten Nutzer, eine bestimmte Zeitspanne und/oder einen bestimmten Verwendungszweck konstruiert werden, ist eine große Adäquatheit und Exaktheit erforderlich (Hildebrandt 2006; Bräutigam 2014).

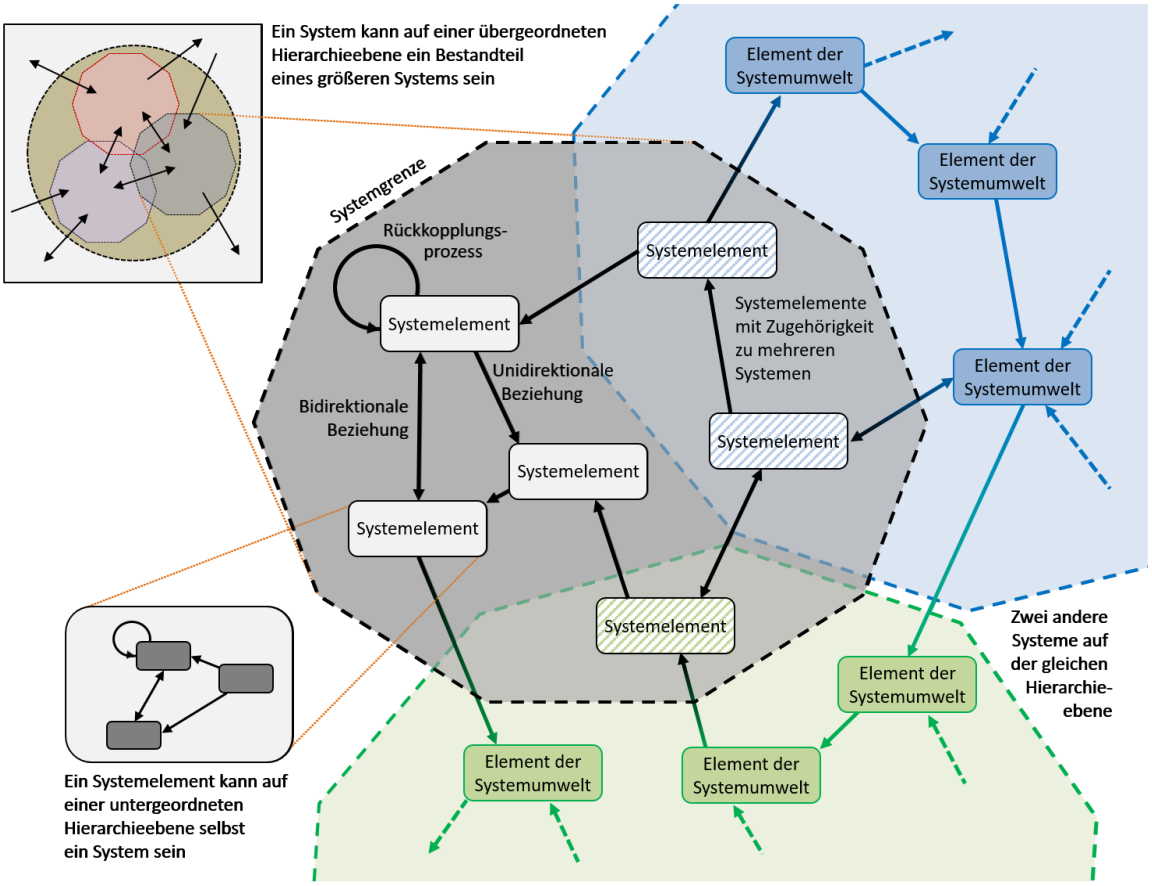


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Systems mit verschiedenen Hierarchieebenen (eigene Darstellung nach Bossel 2004, Sommer 2005, Hildebrandt 2006 und Bräutigam 2014)

Systeme bestehen aus Elementen, die je nach Betrachtung zugleich Elemente eines anderen Systems sein können und materiell, energetisch oder informatorisch uni- oder bidirektional zueinander in Beziehung stehen. Dies kann Relationen zur Umwelt einschließen: Während abgeschlossene Systeme keine Austauschbeziehungen zu dieser aufweisen, ist dies bei geschlossen Systemen (nur Energietransfer) bzw. offenen Systemen (Energie-/Stofftransfer) der Fall, wodurch es zu Bestandsänderungen in den internen Zustandsgrößen durch Zu- oder Abflüsse kommen kann. Folglich können Systeme ihre Umwelt beeinflussen bzw. durch diese selbst beeinflusst werden. Die spezifische Konfiguration der Elemente und Beziehungen, inklusive derjenigen zur Umwelt, bestimmt die innere Systemstruktur, d.h. den inneren Aufbau. Struktur und Grenze beschreiben die Systemorganisation (Booth Sweeney & Sterman 2000; Bossel 2004; Sommer 2005; Hildebrandt 2006; Frischknecht-Tobler et al. 2008; Rempfler & Uphues 2010, 2011: 40; Sommer & Lücken 2010; Bräutigam 2014). Welche der o.g. Merkmale und Aspekte konkret zutreffen, hängt vom betrachteten System ab.

Die Systemeigenschaften, die sich aus Struktur- und Prozesseigenschaften zusammensetzen, gehen über die Eigenschaften der Elemente und Beziehungen hinaus. Hat ein Element durch den Fluss von Materie, Energie bzw. Informationen eine verändernde Wirkung auf ein anderes Element[11], liegen Systemprozesse vor, die sich als *„zeitliche Aufeinanderfolge von verschiedenen Systemzuständen, d. h. von Systemstrukturen zu bestimmten unterschiedlichen Zeitpunkten“* (Hildebrandt 2006: 48) verstehen lassen. Auf der Prozessebene führen diese zu (temporären) Veränderungen linearer oder nicht linearer

[11] Viehrig et al. (2011: 52) unterscheiden zwischen Haupt-, Neben- und multiplen Effekten sowie multiplen Abhängigkeiten.

Art und können Nah- oder Fernwirkungen auslösen. Bei zyklischen Wirkungen in Form von Rückkoppelungen verstärkender bzw. abschwächender Art erfolgt eine Einwirkung auf das Ausgangselement, wodurch eine Eigendynamik in Gang gesetzt wird, die einen Selbstregulationsmechanismus bewirken kann. Systemprozesse und/oder äußere Einwirkungen können die Struktur (temporär) verändern, u.U. zu Systeminstabilität führen oder (qualitativ) neuartige und ggf. nicht vorhersagbare Systemstrukturen, -eigenschaften bzw. -verhaltensweisen auf höherer Hierarchieebene bewirken (Emergenzen). Heben sich Systemprozesse gegenseitig auf, verharrt das System (temporär) in einem statischen Zustand und das resultierende Verhalten ist vorhersagbar (deterministische Systeme). Überwiegen hingegen bestimmte Prozesse, kann dem System eine Dynamik verliehen werden, die sein Verhalten nur noch mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorhersagbar werden lässt (stochastische Systeme) und es setzt mit Blick auf die Zukunft eine Entwicklung ein, die sich u.U. nur noch in begrenztem Maße prognostizieren lässt. Für eine adäquate Einflussnahme auf Systeme (Eingriff, Steuerung, Weiterentwicklung etc.) bedarf es der umfassenden Kenntnis ihrer Identität und Funktionsweise, die aus der spezifischen Konstellation der o.g. Merkmale resultiert (Hantschel 1985; Klaus 1985; Köck 1985; Bossel 2004; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Hildebrandt 2006; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 13ff.; Sommer & Lücken 2010; Viehrig et al. 2011: 52; Rempfler & Uphues 2010, 2011: 40f.; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 111f.; Bräutigam 2014).

Die Komplexität der Struktur und des Verhaltens determinieren die Systemkomplexität, die von niedrig bis hoch ausgeprägt sein kann (Bräutigam 2014). Rieß (2013) bzw. Rieß et al. (2013: 112f.) differenzieren zwischen Nichtsystemen, einfachen Systemen und hochkomplexen Systemen (vgl. Bossel 2004): Während erstere „*einfache Wirkungszusammenhänge, die grundsätzlich mit dem Alltagsverstand erfassbar sind und für die einfache Technologien entwickelt worden sind*“ (Rieß et al. 2013: 112), enthalten, setzen sich zweitere aus einer derart großen Anzahl an Elementen und Wechselwirkungen zusammen, „*dass Eigenschaften und Reaktionsweisen des Systems nicht mehr intuitiv erfasst werden können*“ (Rieß et al. 2013: 112). Bereits an dieser Stelle bedarf es einer tieferen, häufig computerbasierten Systemanalyse, bei der neben der Konstruktion eines Systemmodells auch die Simulation des Systemverhaltens, sofern dessen direkte Beobachtung und Beschreibung möglich ist, für ein besseres Verständnis herangezogen wird (Hantschel 1985; Köck 1985; Bossel 2004; Bräutigam 2014). Diese Erfordernis trifft in besonderem Maße auf hochkomplexe Systeme zu, die aufgrund ihres kontraintuitiven Verhaltens über die menschliche Verständniskraft hinaus gehen und Verhaltens- bzw. Entwicklungsprognosen derart erschweren, dass sie nur beeinflusst und nicht kontrolliert gesteuert werden können (Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 112).

2.2.2 Konstrukt Systemisches Denken

Die uneinheitliche Terminologie zur Beschreibung der mentalen Leistung, sich einen Wirklichkeitsbereich als System vorzustellen, ist bereits im Kontext der BNE in Kapitel 2.1.3.1 angemerkt worden. Auch in der Systemwissenschaft bzw. in der Forschung zu systemischem Denken existiert kein einheitlicher Begriffsgebrauch (Booth Sweeney & Sterman 2000; Sommer 2005; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 17; Rieß & Mischo 2008: 216; Bräutigam 2014). Es werden Termini oftmals mehr oder weniger synonym verwendet (Sommer 2005; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 15ff.; Bräutigam 2014). Eine Betrachtung der Abgrenzbarkeit von den Konstrukten *Modellkompetenz* und *Komplexes Problemlösen* findet sich bei Rieß & Mischo (2008: 216ff.) bzw. Bräutigam (2014), während Hildebrandt (2006) Letzteres und *Systemdynamische Ansätze* beleuchtet. Die uneinheitliche Terminologie hängt z.T. mit dem variierenden Bedeutungsgehalt zusammen: Mit systemischem Denken wird aus der Sicht von Sommer (2005) die kognitive Dispositionsfacette im Kontext verschiedener Wissensformen/-arten

erfasst. Diese stellt die Voraussetzung für die Befähigung zu einem aktiven Umgang mit Systemen (Steuerung) dar, inkludiert jedoch keinen konkreten Handlungsbezug an sich (vgl. Bertschy 2007). Im Kontext des Kompetenzbegriffs ist der Handlungsaspekt, d.h. der aktionale Umgang mit Systemen, hingegen zentral (Sommer 2005; Bertschy 2007; Rempfler & Uphues 2010). Im Gegensatz zum (systemischen) Denken sind bei (System-)Kompetenzen zusätzlich zur kognitiven Facette eine motivationale, volitionale, emotionale und soziale bedeutsam (Weinert 2001: 62; Rychen & Salganik 2003: 44/46; Erpenbeck & Heyse 2007; Erpenbeck & von Rosenstiel 2007: XII/XX; Kaufhold 2006). Einigkeit besteht dahingehend, dass es sich um ein Bündel verschiedener Fähigkeiten/Kompetenzen handelt, die sich mehr oder weniger gut voneinander trennen lassen (Ossimitz 1996, 2000, 2002; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Bertschy 2007; Rempfler 2009; Viehrig et al. 2011; Rempfler & Uphues 2010, 2011; Viehrig et al. 2012; Viehrig 2015). Ihre Ausweisung folgt bzw. entspricht der Ansicht von Ossimitz (2000), dass die wissenschaftliche Erfassung entlang konkreter Teilaspekte im Sinne von einzelnen Fähigkeiten/Kompetenzen ausgerichtet sein sollte und nicht an abstrakter formulierten Dimensionen (Bräutigam 2014). Bisherige Konzeptualisierungen variieren nach Bräutigam (2014) mitunter stark. Die folgende chronologische Auflistung von Autor/innen gibt einen nicht erschöpfenden Einblick in ihr aktuelles Verständnis:

- *Booth Sweeney & Sterman* (*2000*): Den Autor/innen zufolge sind eine Reihe spezifischer Fähigkeiten erforderlich, die von grundlegenderen, wie z.B. der Datendarstellung in einem Diagramm bzw. dessen Interpretation, abhängig sind.
- *Ossimitz* (*2000*): Der Autor differenziert vier Dimensionen, von denen *Vernetztes Denken* eng an die Verwendung adäquater systemischer Darstellungsformen gebunden ist. Die Dimensionen würden kontextabhängig nicht immer gleichberechtigt nebeneinander auftreten. Aufgrund der schweren Operationalisierbarkeit und Messbarkeit sind sieben messbare Teilaspekte ausdifferenziert, die quer zu den vier Dimensionen liegen und diese mehr oder weniger stark betreffen.
- *Rost et al.* (*2003*): Von den Autor/innen sind sieben Komponenten von Systemkompetenz in einem theoriebasierten Kompetenzmodell für die BNE ausgewiesen worden.
- *Ben-Zvi Assaraf & Orion* (*2005*, *2010*) bzw. *Tripto et al.* (*2013*): Von den Autor/innen ist eine, verschiedene Erhebungsinstrumente umfassende Untersuchung des Wissens und Verständnisses zum Wasserkreislauf von Achtklässlern (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005) bzw. von Viertklässlern (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2010) durchgeführt worden.
- *Sommer* (*2005*) bzw. *Sommer & Lücken* (*2010*): Von den Autor/innen ist eine empirische Untersuchung zur Systemkompetenz von Grundschüler/innen in der Biologie (Weißstörche) durchgeführt worden. Die Autoren beziehen sich u.a. auf Ossimitz (2000) und Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) und haben ein theoriebasiertes Kompetenzstufenmodell mit den Teilbereichen *Systemorganisation (Modellbildung)* und *Systemeigenschaften* vorgelegt.
- *Rieß & Mischo* (*2008*): Von den Autoren ist eine empirische Validierung eines theoriebasierten Fragebogens (u.a. auf der Basis von Booth Sweeney & Sterman 2000; Ossimitz 2000) im Kontext der Nachhaltigkeitsthematik durchgeführt worden.
- *Frischknecht-Tobler et al.* (*2008*) bzw. *Kunz & Bollmann-Zuberbühler* (*2008*): Die Autor/innen berichten von einem auf praxisbezogenen Einsichten und empirisch validierten Forschungsergebnissen (u.a. Bezugnahme auf Ossimitz 2000, Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, Sommer 2005) beruhenden Kompetenzmodell zum *Systemischen Denken für eine Nachhaltige Entwicklung*. Das Modell setzt sich aus den Komplexen *Systemkonstruktion* und *Systemmodellnutzung* mit jeweils

eigenen Kompetenzen zusammen. Diese würden sich im Zuge der Anwendung systemorientierter Denkmuster (Systemkonzepte) und der Verwendung entsprechender systemgerechter Externalisierungen (Systemwerkzeuge) – in Abhängigkeit zu persönlichen Sichtweisen, Haltungen oder Gewohnheiten (Habits) – entwickeln.

- *Rempfler & Uphues* (*2010*, *2011*): Von den Autoren ist ein empirisch zu überprüfendes Kompetenzstruktur-/-stufenmodell für eine geographische Systemkompetenz mit den vier Dimensionen *Systemorganisation* und *Systemverhalten* im Kontext des Erwerbs von Systemwissen (beide u.a. nach Sommer 2005), *Systemadäquate Handlungsintentionen* im Kontext der mentalen Wissensanwendung (u.a. nach Ossimitz 2000; Rost et al. 2003; Frischknecht-Tobler et al. 2008) und *Systemadäquates Handeln* als wissensbasierter Handlungsvollzug vorgelegt worden.
- *Viehrig et al.* (*2011*), *Viehrig et al.* (*2012*) bzw. *Viehrig* (*2015*): Von den Autor/innen ist ein theoriebasiertes Stufenmodell für eine geographische Systemkompetenz entwickelt worden. Das Modell beinhaltet – u.a. in Anlehnung an Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) – die beiden jeweils dreistufigen Dimensionen *Systeme erfassen und analysieren* und *Handlungsmöglichkeiten gegenüber Systemen einschätzen* (ursprünglich als *Gegenüber Systemen handeln*; vgl. Viehrig et al. 2012: 95ff.) sowie ferner *Räumliches Denken* als geographiespezifische Dimension.
- *Bräutigam* (*2014*): Die Autorin hat im Rahmen einer Interventionseinheit für Sechstklässler einen theoriebasierten (u.a. nach Ossimitz 2000; Rost et al. 2003; Bertschy 2008; Rieß & Mischo 2008; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer & Lücken 2010) Fragebogen im Kontext der BNE empirisch validiert, der die drei Kompetenzbereiche *Deklaratives Wissen über Systeme allgemein (Kenntnis des Systemkonzepts)*, *Modellierung eines Wirklichkeitsbereichs als System* und *Mentale Simulation (Modellanwendung) als Ausgangspunkt für Erklärungen, Prognosen und Eingriffsplanungen* differenziert. Grundlage für die Entwicklung ist ein Kompetenzniveaumodell zu systemischem Denken für die Sekundarstufe I gewesen, das von Bräutigam et al. (2009) stammt und die Kompetenzniveaus *Systemwissen*, *Systemisches Modellieren* und *Auf der Grundlage von Modellen Probleme lösen können (Modellanwendung)* unterscheidet.

Ob die in den o.g. Konzeptualisierungen ausgewiesenen Fähigkeiten/Kompetenzen kontext- bzw. bereichsspezifisch erworben werden, oder ob sie eher allgemein und übergreifend sind, ist nach Frischknecht-Tobler et al. (2008: 31) und Viehrig (2015) aktuell Diskussionsgegenstand (Kapitel 2.2.3); Sommer (2005) führt diesbezüglich Studien an, die beides gezeigt hätten. Bollmann-Zuberbühler & Kunz (2008: 33) sprechen von einer spezifischeren Art des Denkens, die sich nach Rieß & Mischo (2008: 217), Rieß (2013), Rieß et al. (2013: 115) und Bräutigam (2014) im Gegensatz zu nicht systemischem Denken durch die Anwendung von Systemtheorie und -konzept auszeichnet, bei der systembezogenes Wissen generiert, ein damit zusammenhängendes mentales Systemmodell konstruiert und durch mentale Modellsimulation weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Eine Gegenüberstellung der Inhalte der von den o.g. Autor/innen ausgewiesenen Fähigkeiten/Kompetenzen liefert Tabelle 5. Wie zu erkennen ist, besteht Übereinstimmung im Bereich der Erfassung der Systemstruktur und der damit verbundenen Konstruktion eines mentalen Systemmodells. Dies impliziert die Identifikation der Systemgrenze und die Wahrnehmung der Elemente inklusive ihrer Beziehungen untereinander; nach Ossimitz (2000) wird erst durch letztere eine Einschätzung der Brauchbarkeit bzw. Nützlichkeit ersterer ermöglicht sowie die Systemstruktur erkennbar. Die Identifikation dieser Merkmale entspricht dem *Vernetzen Denken* bei Ossimitz (2000) und Rost et al. (2003) sowie mit dem *Strukturellen systemischen Denken* bei Sommer & Lücken (2010). Von der statischen Dimension der Struktureigenschaften unterscheidet sich die Prozessdimension, in der Prozesseigenschaften in Form von Flussraten,

Tabelle 5: Ausgewiesene Inhalte von systemischem Denken bzw. Systemkompetenz

In Bezug auf Systeme / Autor/innen		Sweeney & Sterman (2000)	Ossimitz (2000)	Rost et al. (2003)	Ben- Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010) bzw. Tripto et al. (2013)	Sommer (2005) bzw. Sommer & Lücken (2010)	Rieß & Mischo (2008)	Frischknecht-Tobler et al. (2008)	Rempfler & Uphues (2010, 2011)	Viehrig et al. (2011), Viehrig et al. (2012) bzw. Viehrig (2015)	Bräutigam (2014)	Bräutigam et al. (2009) in Bräutigam (2014)
Systemgrenze		X				X		X	X			X
Systemelemente Schlüsselelemente		X	X	X	X	X	X	X	X	X	(X)	X
(Wechsel-)Beziehungen zwischen Systemelementen		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Systemstruktur			X		X	X		X	X	X		X
Systemprozesse (Beziehungen mit verändernder Wirkung)	Prozesse				X					X		
	Wechselwirkungen			X								X
	Ursache-Wirkungs-Beziehungen/Ketten kausale Zusammenhänge		X					X	X		X	
	Wirkungsnetze Wirkungsgefüge		X							X		
	Effekte Wirkungen (langfristig, in-/direkt, zeitnah/-fern, komplex)		X			X X				X		X
	stock and flow relationships	X	X						X			
	Dynamische Beziehungen Eigendynamik (Zeitliche) Dynamiken dynamic complexity	X	X X		X	X	X	X			X	
	Zeitliche Veränderbarkeit nonliniearties Schwingungsprozesse	X	X									X
	delays and impacts zeitliche Verzögerungsprozesse	X	X									
	Rückkopplungen/-wirkungen Rückkopplungseffekte/-kreise Kreisläufe feedback processes	X	X			X			X X			X X X
Systemverhalten		X	(X)	(X)		(X)	(X)	(X)	X	(X)	(X)	(X)
zyklische Natur von Systemen					X							
Systementwicklung	Entwicklungsmöglichkeiten		X									
	Prognosen treffen						X	X	X		X	X
	Vorhersage der Folgen von Veränderungen					X					X	X
	system behavior over time	(X)										
	Prospektives Denken				X							
Modellbildung Generalisierung			X		X						X	X

Einflussfaktoren der Systemumwelt										X
Parallele Entwicklungen	X									
Emergenz							X			X
Irreversibilität							X			
Systemintegrität										X
Differenzierung der Systemkomplexität									X	X
Beachtung versteckter Dimensionen			X							
Erkennung von Hierarchieebenen			X							
Erkennung von Systemgrundmustern (Archetypen)	X									
Unterscheidung zwischen Systemeigenschaften und Elementeigenschaften				X						
Entwicklung und Steuerung von Simulationsmodellen	X									
Beurteilung von Handlungsentwürfen						X				
Beurteilung von Eingriffen bzw. Eingriffsmöglichkeiten								(X)	X	X
Planung von Systemregulation							X			
Planung von Systemeingriffen ohne schädliche Wirkung					X					X
Systembezogenes Handeln: Systemsteuerung	X	X								
Systembezogenes Handeln: Weiterentwicklung	X									
Systembezogenes Handeln: Systemeingriff	X									
Systembezogenes Handeln: Umgang mit Systemen		X								
Systembezogenes Handeln: Systemadäquates Verhalten		X								
Systembezogenes Handeln: Systemadäquates Handeln							X			
Systembezogenes Handeln: Systemgerechtes Handeln	X									
Systembezogenes Handeln: Systemorientierte Handlungsweise		X								

Anmerkung: Explizit genannte Inhalte sind mit einem „X“, implizit enthalte Inhalte mit einem „(X)“ gekennzeichnet.

Veränderungen, Auswirkungen und Folgen bedeutsam sind (Hildebrandt 2006). Letztere erfordern Kognitionsprozesse, bei denen das *Dynamische Denken* bei Ossimitz (2000), das *Prozessuale Denken* bei Rost et al. (2003) und das *Prozedurale systemische Denken* bei Sommer & Lücken (2010) ebenso relevant sind wie das *Retro-/prospektive Denken* bei Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010) und die *Erfassung zeitlicher Dimensionen (Dynamiken)* bei Rieß & Mischo (2008). Innerhalb der Prozessdimension ist die Identifikation von Systemprozessen, einer Sammelkategorie verschiedener prozessorientierter Vorgänge in Tabelle 5, zu verorten, die sich z.T. über größere strukturelle Gebilde wie z.B. Rückkopplungskreise erstrecken können. Des Weiteren sind die Identifikation des Systemverhaltens[12] und die Systemprognose einzubeziehen, die sich jeweils aus der Gesamtheit der Systemprozesse ergeben und häufig gemeinsam behandelt werden. Ihr adäquates Verständnis geht aus bestehendem bzw. neu erworbenem Systemwissen (Rempfler & Uphues 2010, 2011: 40) im Rahmen einer mentalen Simulation des Systemmodells (Bräutigam 2014) hervor. Tabelle 6 fasst die zuvor genannten Aspekte zusammen, die sich auf die klassischen Schritte der Systemanalyse beziehen (Hildebrandt 2006) und darüber hinaus den Aspekt des systemgerechtes Handeln inklusive Vorbereitung inkludieren.

[12] Dieser Aspekt ist in vielen Konzeptualisierungen nicht explizit als Inhalt benannt, sondern vielmehr implizit als (ein) zentrales Ziel zu verstehen (vgl. Hildebrandt 2006).

Tabelle 6: Zentrale Inhalte von systemischem Denken bzw. Systemkompetenz

Dimension		Inhalt
Mentaler Bereich	Strukturelles Denken	Systemgrenze
		Systemelemente
		Beziehungen zwischen den Systemelementen
		Systemstruktur
	Prozedurales Denken	Systemprozesse (inklusive Ursachen und Folgen bzw. Auswirkungen)
		Systemverhalten
		Systementwicklung (inklusive Merkmale und Eigenschaften)
		Planung/Vorbereitung einer systemgerechten Handlung
Aktionaler Bereich		Systemgerechte Handlung (Systemeingriff, -steuerung, -weiterentwicklung)

Das beim systemischen Denken aufgebaute bzw. modifizierte mentale Systemmodell stellt eine aus der Konfrontation mit dem betrachteten System hervorgehende mentale Repräsentation dar. Als funktionsorientiert ausgerichtetes mentales Konstrukt gibt es die Strukturen, Funktionen und Eigenschaften des betrachteten Systems in einer Analogieform unvollständig wieder (Norman 1983; Schnotz: 7; Weidenmann 1994: 38ff.; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 67; Bräutigam 2014). Nach Schnotz & Bannert (1999) bzw. Schnotz (2001, 2002: 67) sind derartige Modelle zu verstehen als interne Quasi-Objekte, deren Strukturen, Merkmale und Eigenschaften von jenen, die das betrachtete System aufweist, insbesondere dann abweichen, wenn „*Sachverhalte repräsentiert werden* […], *die der Wahrnehmung nicht unmittelbar zugänglich sind*" (Schnotz 2001: 300). Die Inhalte eines solchen Modells sind weder scharf abgegrenzt von den Inhalten eines anderen, benachbarten Modells, noch sind sie unbedingt zeitlich überdauernd (Norman 1983: 8).

Im Vergleich zu visuellen Wahrnehmungen oder mentalen visuellen Vorstellungen weisen mentale (System-)Modelle einen höheren Abstraktionsgrad ihrer strukturellen Übereinstimmungen mit dem repräsentierten Sachverhalt (System) auf (Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 67). Dies ist auf Selektionsprozesse zur Optimierung des kognitiven Arbeitsaufwands zurückzuführen. In der Folge werden nur diejenigen Informationen aufgenommen, interpretiert und in das Modell einbezogen, die als anforderungsrelevant angesehen werden. Hierdurch kann es nach Lewalter (1997) zu zielsetzungsspezifischen Ausprägungsvarianzen kommen. Darüber hinaus werden Informationen hinzugefügt, die aus dem Vorwissen stammen (Schnotz & Bannert 1999; Johnson-Laird 2001) und für die Stabilität des gesamten Modells von großer Relevanz sind (Lowe 1993).

Bei der erstmaligen Beschäftigung mit einem System wird unter Einfluss von inhaltsbezogenem Vorwissen bzw. Vorerfahrungen mit ähnlichen Systemen in Abhängigkeit zu den individuellen Gedächtnisfähigkeiten bei der Informationsverarbeitung das mentale Systemmodell von Grund auf aufgebaut; Ziel dessen ist eine weitestgehende Übereinstimmung mit dem konzeptuellen Modell, wie es in der betreffenden Wissensdomäne besteht (Norman 1983: 12ff.). In nachfolgenden Auseinandersetzungen mit dem Modell unterliegt es Modifikationen im Sinne von Anpassungen, Korrekturen, Erweiterungen bzw. Ausdifferenzierungen (Norman 1983: 7f.). Auf diese Weise entsteht mit der Zeit bei Expert/innen ein komplexes und in sich ausdifferenziertes Systemmodell, während das von Noviz/innen fragmentarisch ausgebildet ist, fehlerhaft sein kann und z.T. auf Überzeugungen anstatt auf gesichertem Wissen beruht (Norman 1983: 8; Lewalter 1997).

Mentale Modelle können zu einem begrenzten Maße gedanklich durchgespielt werden (Norman 1983: 8; Neumann-Mayer 2005), sodass es mit ihrer Hilfe möglich ist, „*über die aktuelle Situation hinaus Vorhersagen zu treffen*“ (Bräutigam 2014: 58) und dadurch neues Wissen zu generieren. Der Autorin zufolge wird in der Kognitionspsychologie des Weiteren angenommen, „*dass mit Hilfe von mentalen Modellen Schlussfolgerungen von einer dargestellten Struktur eines Gegenstandsbereichs auf dessen Funktionsweise gezogen werden können*“ (Bräutigam 2014: 61). Schließlich können mentale Modelle auch bei Problemlöseaufgaben für induktiv wie deduktiv schlussfolgerndes sowie für kreatives Denken herangezogen werden (Weidenmann 1994: 39; Johnson-Laird 1995: 999f., 2001).

2.2.3 Förderung systemischen Denkens

Bollmann-Zuberbühler & Kunz (2008: 52) kommen im Kontext des unterrichtlichen Einsatzes des System-Dynamics-Ansatzes in Deutschland und den USA zu der Erkenntnis, dass die Implementierung systemischen Lernens in der Schule möglich sei. Als Zeitraum für diesen Prozess geben die Autor/innen mehrere Jahre an, bis entsprechende Ergebnisse auf der Leistungsebene erkennbar sind. In diesem Zusammenhang weist Bollmann-Zuberbühler (2008), wie auch zuvor Rost (2002), darauf hin, dass aus bildungspolitischer/-theoretischer Sicht (allerdings) noch nicht eindeutig geklärt ist, „*was «Umgang mit Komplexität» als Bildungsziel wirklich bedeutet und welche Qualifikationen eine Schülerin/ein Schüler haben muss, damit sie/er sich in einer komplexen Welt zurechtfindet*“ (Bollmann-Zuberbühler 2008: 100f.). Systemisches Denken kann prinzipiell auf unterschiedlichste Systeme bezogen sein. Kognitiv anspruchsvolle Aspekte wie hohe Komplexität und Dynamik, zugrundeliegende Prinzipien, nicht unmittelbar ersichtliche Beziehungen (u.U. über verschiedene Hierarchieebenen hinweg), parallele und z.T. gegenläufige Prozesse oder von den eigenen Erklärungsansätzen abweichende Phänomene sowie nicht intuitives Systemverhalten und die Notwendigkeit zu abstrakten Denkweisen (Hmelo-Silver & Pfeffer 2004) können die individuelle kognitive Leistungsfähigkeit[13] ab einem gewissen Punkt übersteigen. Der Versuch, ein Verständnis für (hoch-)komplexe Systeme zu entwickeln, ist nach Hmelo-Silver & Pfeffer (2004) dadurch gekennzeichnet, dass eine Fokussierung auf Systemmerkmale erfolgt, die der unmittelbaren Wahrnehmung zugänglich sind. Unsichtbare oder dynamische Aspekte stellen i.d.R. eine große Herausforderung dar und können zu einer hohen Belastung des Kurzzeit-/ Arbeitsgedächtnisses führen. Beim Aufbau eines Systemverständnisses wird daher häufig „*auf bewährte, vereinfachende und daher oft unangemessene Denk- und Problemlösemuster*“ (WBGU 1996: 94) zurückgegriffen. Eine solche Herangehensweise zeichnet sich aus durch monokausales Denken, durch die Ausblendung langfristiger, indirekter Auswirkungen, durch die Überforderung mit nicht linearen Entwicklungsverläufen, durch mangelndes Verständnis für systemdynamische Konzepte wie Verzögerungen, Rückkoppelungen, Zu-/Abflüsse und durch die Annahme einer zentralen Kontroll-/ Steuerungsmöglichkeit (Hmelo-Silver & Pfeffer 2004). In zahlreichen wissenschaftlichen Studien (vgl. Ossimitz 1994: 196; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Booth Sweeney & Sterman 2000, 2007; Bollmann-Zuberbühler 2008; Sommer & Lücken 2010; Rieß 2013) sind Defizite in den Denk-/Verhaltensweisen von Jugendlichen wie auch Erwachsenen festgestellt worden; Gegensätze zeigen sich hier zwischen Expert/innen und Noviz/innen (vgl. Hmelo-Silver & Pfeffer 2004). Als Grund hierfür gelten u.a. unzureichende intuitive mentale Modelle, die den Aufbau eines adäquaten Verständnisses systemdynamischer Konzepte und (hoch-)komplexer Systeme nicht unterstützen (Booth Sweeney & Sterman 2000; Bollmann-Zuberbühler & Kunz 2008: 52); ein Überblick über (kognitions-)psychologische Ursachen und

[13] Gemäß der *cognitive load theory* (Chandler & Sweller 1991) wird das Ausmaß der Informationsverarbeitung im Gedächtnis durch dessen Kapazitätsgrenzen eingeschränkt. Um die kognitive Belastung gering zu halten, können verfügbare Kapazitäten durch Aufmerksamkeitslenkung und metakognitive Strategien selektiv zugewiesen werden.

Hintergründe findet sich bei Buerschaper (1996), während Köck (2001) evolutionäre Aspekte anführt. Booth Sweeney & Sterman (2007) haben in einer Studie jedoch Lernende identifiziert, die aufgrund natürlicher Systemintelligenz einen besseren Umgang mit verschiedenen systemdynamischen Konzepten zeigten als ihre Lehrenden.

Angesichts der o.g. Anforderungen an die individuelle kognitive Leistungsfähigkeit wird im schulischen Kontext die Aufgabe der Förderung systemischen Denkens primär darin gesehen, „*bei SchülerInnen eine gewisse Grundlage zu schaffen, so dass sie in der Lage sind, Probleme, die in ihrer Komplexität reduziert sind, mit angemessenen Vorgehensweisen zu bearbeiten*." (Bräutigam 2014: 8). Folglich sind von den drei Komplexitätskategorien aus Kapitel 2.2.1 insbesondere die ersten beiden relevant.

Nach Bollmann-Zuberbühler & Kunz (2008: 52) beruhen Leistungen systemischen Denkens zu einem wesentlichen Teil auf einem entsprechenden bereichsspezifischen Vorwissen sowie auf der thematischen Situierung der zu lernenden Inhalte, die nach Mehren et al. (2015) beide sehr hoch miteinander korrelieren. Die Bedeutung bereichsspezifischen Wissens als Einflussfaktor wird allgemein berichtet (vgl. u.a. Ossimitz 2000; Sommer 2005; Hildebrandt 2006; Bertschy 2007; Booth Sweeney & Sterman 2007; Rieß & Mischo 2008: 228; Rempfler 2009: 73; Sommer & Lücken 2010; Frisk & Larson 2011; Bräutigam 2014; Mehren et al. 2015; Viehrig 2015). Über den Einfluss von bereichsunabhängigem, kontextuellem Wissen[14] über das Systemkonzept und dessen Anwendung auf einen bestimmten Wirklichkeitsbereich berichten Sommer (2005), Sommer & Lücken (2010) sowie Bräutigam (2014); es impliziert grundlegendes Wissen über die Steuerbarkeit von und die Eingreifbarkeit in Systeme als Ausgangspunkt für systemgerechtes Handeln (Booth Sweeney & Sterman 2007; Bertschy 2007). Nach Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) sind higher-order thinking skills von Relevanz, die sich verstehen lassen als „*a cluster of elaborative mental activities requiring nuance judgment and analysis of complex situations according to multiple criteria (Resnick, 1987)*." (ebd., S. 555). Diese kontextunabhängigen Denkfähigkeiten lassen sich nach Mehren et al. (2014) über die konkrete Anwendung im Rahmen bereichsspezifischer Inhalte sowie aus der Sicht von Bertschy (2007) durch wiederholten Wissenstransfer über verschiedene Bereiche hinweg fördern (vgl. Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005). Abstraktes Denkvermögen, als Teil von Intelligenz, hat in der Studie von Sommer (2005) keinen signifikanten Einfluss gezeigt, während logische Denkfähigkeiten bei Rieß & Mischo (2008: 228) in dieser Hinsicht relevant gewesen sind. Über inkonsistente Ergebnisse zum Einfluss intellektueller Fähigkeiten in verschiedenen Studien berichtet Rempfler (2009: 73).

Hinsichtlich der verschiedenen Wissensarten/-formen sind nach Rieß & Mischo (2008: 217f.) sowie Frisk & Larson (2011) deklaratives Wissen und prozedurales Wissen relevant. Für Sommer (2005) ist Faktenwissen notwendig, um Elemente und ihre Beziehungen untereinander zu erkennen; Preußler (1998) spricht bezüglich der Beziehungen explizit von Strukturwissen. Konzeptwissen besitzt nach Sommer (2005) Relevanz für die Organisation der Elemente und Beziehungen in einem Beziehungsgerüst, während die Konstruktion eines Systemmodells im Rahmen prozeduralen Wissens erfolgt. Im Gegensatz zu Rieß & Mischo (2008: 217f.) bzw. Frisk & Larson (2011) hält Sommer (2005) ferner metakognitives Wissen für erforderlich, wenn es um das Bewusstsein geht, dass „*der Blick des Beobachters auf ein System in aller Regel von einer bestimmten Fragestellung bestimmt ist, und sich daher auch in den Ergebnissen äußert*" (ebd., S. 63). Rempfler & Uphues (2010) halten deklaratives, prozedurales und metakognitives Wissen für relevant, dem sie ferner strategisches Wissen hinzufügen.

[14] Kontextuelles Wissen umfasst „*Problemlösestrategien für bestimmte Kontexte, also auch Standards und Einschätzungen der Angemessenheit bestimmter Prozeduren, und wann und wo welches Wissen anzuwenden ist*" (Kerres 2001: 169). Es determiniert die Zugreifbarkeit auf die anderen Wissenskategorien in konkreten Anwendungssituationen (ebd., S. 168).

Als weitere personale Einflussvariablen werden die Motivation bzw. das Interesse genannt, obwohl Studien zu keinem eindeutigen Ergebnis kommen: Bei Sommer (2005) hat sich situationales Interesse als positiver Einflussfaktor erwiesen, wohingegen dispositionales Interesse nur begrenzt als solcher gewirkt hat. Auch in der Studie von Bräutigam (2014) hat sich kein klarer Effekt durch motivationale Aspekte gezeigt. Rempfler (2009: 73) spricht hingegen von seiner Bedeutung in verschiedenen Studien. Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) haben in ihrer Studie gleichfalls die motivations-/interessensbedingte Beteiligung an Aufgaben (level of involvement) als eine bedeutsame Variable festgestellt. Bei Rieß & Mischo (2008: 228) ist ein statistischer Zusammenhang zum Selbstkonzept von Lernenden zutage getreten. Laut Ossimitz (2000) bestehen keine Beziehungen zur Vorerfahrung im Umgang mit Computern[15] sowie zur Schulnote in Mathematik. Während sich bei Sommer (2005) das Alter bzw. die Klassenstufe weitestgehend als ein signifikanter Einfluss erwiesen hat, haben bei Ossimitz (2000) keine signifikanten Zusammenhänge vorgelegen. Mit Blick auf das Geschlecht spricht Sommer (2005) von keinem konsistenten und Ossimitz (2000) von überhaupt keinem Einfluss.

Im Bereich externaler Einflüsse hat Sommer (2005) Unterschiede zwischen verschiedenen Grundschulklassen festgestellt. Ossimitz (2000) spricht von der Bedeutung der unterrichtlichen Behandlung durch Lehrkräfte, während sich bei Rieß & Mischo (2008: 228) Unterschiede zwischen Gymnasial- und Realschüler/innen gezeigt haben. Eine weitere externe Variable ist die Erfahrung in den Bereichen Wissenserwerb und Modellkonstruktion: Interventionsstudien haben gezeigt, dass durch gezieltes Training bzw. entsprechend ausgerichtete Lernangebote durchaus die Leistungen in diesen Bereichen gefördert werden können; dies gilt für die Sekundarstufe (Leutner & Schrettenbrunner 1989; Ossimitz 2000; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Hildebrandt 2006; Booth Sweeney & Sterman 2007; Bollmann-Zuberbühler 2008; Rieß & Mischo 2008; Brandstädter et al. 2012; Rieß 2013; Rieß et al. 2013; Bräutigam 2014; Viehrig 2015) wie für die Primarstufe (Sommer 2005; Bertschy 2008; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2010; Sommer & Lücken 2010; Brandstädter et al. 2012). Von Bedeutung ist auch das Beherrschen der formalen Schritte der Systemanalyse (Bollmann-Zuberbühler & Kunz 2008: 52; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2010; Mehren et al. 2014): Neben Übungen, die auf die mentale Wahrnehmung eines Wirklichkeitsbereichs als System abzielen, sind Übungen wichtig, die einen adäquaten altersgemäßen Umgang mit Systemwerkzeugen als Möglichkeit zur Externalisation des Systemwissens trainieren und mit positiven Effekten auf Externalisierungsleistungen in Verbindung gebracht werden (Ossimitz 1996: 283, 2000, 2002: 164/171; Sommer 2005; Bollmann-Zuberbühler 2008: 112ff.; Bollmann-Zuberbühler & Kunz 2008: 52; Frischknecht-Tobler et al. 2008; Bräutigam 2014; Mehren et al. 2014). Für Ossimitz (2002) besteht das Erlernen von systemischem Denken (daher) „*vor allem im Erlernen von systemischen Darstellungsformen*“ (ebd., S. 168).

2.2.4 Externalisation systemischen Denkens

Systemisches Denken beschreibt ein Bündel an Fähigkeiten/Kompetenzen, die es für wissenschaftliche Untersuchungen zu externalisieren gilt:

> *„Wenn man die Fähigkeit systemisches Denken empirisch messen möchte, dann muss dieses Denken in geeigneter Weise materialisiert bzw. repräsentiert werden, um in einem Experiment beobachtet werden zu können.*“ (Ossimitz 2002: 164)

[15] In Bezug auf die Modellbildung und System-/Modellsteuerung wird der Einsatz von Computern/Simulationen als vorteilhaft gesehen (Bollmann-Zuberbühler & Kunz 2008: 52; Mehren et al. 2014). Allerdings sind verschiedene Studien zu dem Ergebnis gekommen, dass der computerbasierte Umgang mit Komplexität nicht immer grundsätzlich gelernt wird (Leutner & Schrettenbrunner 1989; Rost 2002; Bollmann-Zuberbühler & Kunz 2008: 52/59; Rieß & Mischo 2008: 219; Rieß 2013; Rieß et al. 2013: 117). Rieß (2013) und Rieß et al. (2013) verweisen (daher) auf die Bedeutung der Einbettung des Computereinsatzes in eine auf systemisches Denken ausgerichtete Unterrichtsgestaltung.

Im Rahmen seiner Konzeptualisierung geht der Autor (Ossimitz 2000, 2002: 161) von einer sehr engen Wechselbeziehung zwischen Denken und Darstellen aus, in deren Folge er eine enge Verbindung zwischen systemischen Denkformen und systemischen Darstellungsformen postuliert:

> *„Wir konnten feststellen, dass bereits das bloße Sehen von zwei einfachen Wirkungsdiagrammen Schüler dazu veranlasst, das Hilu-Beispiel ganz anders in eine Grafik umzusetzen als dies Schüler ohne einen solchen Hinweis tun*“ (Ossimitz 2000: 133)

Die Qualität, in der systemisches Denken externalisiert werden kann, wird in direkter Abhängigkeit zu bestimmten, systemadäquaten Repräsentationsformen/-mitteln gesehen:

> *„Systemisches Denkens lässt sich nur durch adäquate systemische Darstellungsformen (bzw. Verhaltensweisen) sichtbar und damit kommunizierbar machen*.“ (Ossimitz 2002: 164)

Dieser Logik folgend kann systemisches Denken exklusiv über diejenigen Darstellungsformen/-mittel zum Ausdruck gebracht werden, die für die Externalisation grundsätzlich geeignet sind (Ossimitz 1994). Dies bedeutet, dass ein adäquates Urteil über die individuelle Ausprägung systemischen Denkens stets die Berücksichtigung der für die externalisierende Person zur Verfügung stehenden Repräsentationsmöglichkeiten erfordert (Ossimitz 2000). Des Weiteren ist zu beachten, dass sich, u.a. auch bei systemischem Denken (Ossimitz 2002: 164), Fähigkeiten/Kompetenzen nicht aus sich selbst heraus direkt diagnostizieren lassen, sondern dass es hierfür einer spezifischen Handlung, Verhaltensweise oder Auswahlentscheidung bedarf, über die sie sich innerhalb der Rahmenbedingungen (z.B. Aufgabenformat, Anspruchsniveau) situations-/kontextbezogen manifestieren und dadurch wissenschaftlich erfassen und beurteilen lassen (OECD 2002; Rychen & Salganik 2003: 48; Kaufhold 2006; Erpenbeck & Heyse 2007). In diesem Zusammenhang hat sich die kognitive Komponente aufgrund der prinzipiellen Reproduzierbarkeit von Wissensbeständen als (besonders) „*theoretisch und empirisch fassbar*“ (Oelkers & Reusser 2008: 25) erwiesen.

Für die Externalisation von systemischem Denken werden nach Kunz & Bollmann-Zuberbühler (2008: 57) in empirischen Studien weitestgehend vergleichbare Operationalisierungsverfahren/-methoden eingesetzt, die einheitlich darauf abzielen, dass „*Systeme in irgendeiner Form als Modell dargestellt werden*“ (ebd., S. 56). Die Modellrepräsentation, die über die Externalisation des betreffenden Systemwissens vollzogen wird, erfolgt über Repräsentationsformen, die auf verbalen Beschreibungen, mathematischen Gleichungen oder graphischen Visualisierungen beruhen (Ossimitz 2002: 164ff.; Hildebrandt 2006; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 21ff.; Bräutigam 2014). Es kommen Verfahren zur Anwendung, die entweder darauf abzielen, systemrelevante Informationen aus vorgegebenen Repräsentationen herauszulesen, oder eine selbstständige Darstellung bzw. Ergänzung von systemrelevanten Informationen in vorbestimmten bzw. frei zu wählenden Repräsentationsformen vorzunehmen (Kunz & Bollmann-Zuberbühler 2008: 57ff.; Bräutigam 2014; Jahn et al. 2015: 343ff.); Beispiele für Aufgabentypologien finden sich in Rempfler & Uphues (2011: 46). Herausgelesene Systeminformationen, die sich auf Elemente, Beziehungen und Prozesse (inklusive Rückkopplungen/Kreisläufe) sowie Struktur-, Verhaltens- und Entwicklungsaspekte beziehen können, werden in Interviews (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Bertschy 2007, 2008; Booth Sweeney & Sterman 2007) oder über offene bzw. gebundene Frage-Antwort-Formate (Booth Sweeney & Sterman 2000; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Hildebrandt 2006; Rieß & Mischo 2008: 223ff.; Rieß 2013; Bräutigam 2014) erhoben; dies betrifft u.a. die Interpretation vorgegebener Systemmodelle (vgl. in Bräutigam 2014).

Da verbale Repräsentationen einem linearen Wiedergabeprinzip unterliegen, das sich nur in begrenztem Maße für komplexe, nicht lineare Sachverhalte eignet, und sie zudem an individuelle Sprachfähigkeiten gebunden sind, finden häufig graphische Repräsentationsformen Verwendung (Bollmann-

Zuberbühler 2008: 101; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 21ff.; Rempfler 2009: 73; Bräutigam 2014). Bei einer gängigen Vorgehensweise dient eine verbale, seltener auch eine graphische Repräsentation als Vorlage und es gilt die darin enthaltenen Systeminformationen in Diagrammen, Graphen oder selbstgezeichneten Skizzen vollständig oder als Ergänzung graphisch wiederzugeben (Ossimitz 2000; Booth Sweeney & Sterman 2000; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Rieß & Mischo 2008: 224; Sommer & Lücken 2010; Rempfler & Uphues 2011: 46; Brandstädter et al. 2012; Rieß 2013; Mehren et al. 2014). Als Diagrammtypen dienen Struktur-, Fluss- und Kausal-/Wirkungsdiagramme, die v.a. auf die Repräsentation der verschiedenen Merkmale abzielen (Ossimitz 1994: 197, 2000, 2002: 164ff.; Hildebrandt 2006; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 21ff.; Bräutigam 2014). Für Ossimitz (2000) sind Wirkungsdiagramme das Standardwerkzeug für vernetztes Denken, obschon sie, wie andere Diagrammtypen, aufgrund ihrer qualitativen Natur nur begrenzt quantitative Aussagen zulassen.

Diagramme und Graphiken erleichtern nach Bräutigam (2014) die Erfassung von Systeminformationen, z.B. über Elemente, Beziehungen und Prozesse. Sie sind i.d.R. auf diese inhaltlich ausgerichtet, sodass diese auf Anhieb und ohne weiteren Interpretationsbedarf abgelesen werden und zum Aufbau eines mentalen Modells beitragen können. Durch Modellsimulation lassen sich der Autorin zufolge weiterführende Erkenntnisse in Form von Erklärungen, Prognosen und zielgerichteten Eingriffsplanungen generieren. Durch Diagramme und Graphiken kann die Wahrnehmbarkeit von Mustern und raumzeitlichen Prozessen vergrößert (erhöhte Salienz) und Folgerungsprozesse vereinfacht werden. Des Weiteren bieten sie eine Erleichterung für Informationsverarbeitungsprozesse, indem die in ihnen konkret veranschaulichten Informationen in ihrer Wahrnehmbarkeit und Interpretierbarkeit erhöht werden und dadurch die kognitive Verarbeitbarkeit verbessert wird. Zugleich können Gedanken auf die in ihnen visualisierten Informationen ausgelagert werden, sodass die kognitive Belastung reduziert wird (Bräutigam 2014). Kausal-/Wirkungsdiagramme bieten eine fokussierte Repräsentation, sodass sich die komplexe Systemstruktur, bzw. ein Teil davon, gut abbilden und wahrnehmen lässt (Bräutigam 2014). Dies gilt ebenso für die mit der Graphentheorie in Verbindung stehenden Mapping-Techniken wie das Mind Mapping oder das in Kapitel 2.3.2 ausführlich behandelte Concept Mapping, von denen insbesondere Letzteres in zahlreichen Studien bereits Verwendung gefunden hat (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Rieß & Mischo 2008: 224; Sommer & Lücken 2010; Viehrig et al. 2011: 49ff.; Brandstädter et al. 2012; Viehrig et al. 2012: 99f; Tripto et al. 2013; Viehrig 2015; vgl. in Jahn et al. 2015). Nach Bräutigam (2014) ist auch die Identifikation der Systemgrenze, neben offenen Fragen, bereits in graphischer Form durchgeführt worden, indem „*SchülerInnen auf einer Karte mit Elementen eines Systems* […] *eine Grenze einzeichnen*“ (ebd., S. 38) sollten.

Sofern der Umgang mit graphischen Repräsentationsformen noch nicht (ausreichend) beherrscht wird, bedarf es einer Kennenlern-/Übungsphase, in der Grundlagen vermittelt und die Beherrschung geübt wird. Diese Maßnahme dient der Minimierung/Eliminierung potenzieller Störeinflüsse im Bereich der handwerklichen Anwendung (Kunz & Bollmann-Zuberbühler 2008: 58). Die positive Wirkung der selbstständigen Konstruktion auf die Auseinandersetzung mit Systemen und das systemische Denken zeigen Studien wie die von Ossimitz (1994, 1996, 2000) und Bell (2004). Im Rahmen einer parallelen Systemerkundung und Diskussion im Lerntandem (Sekundarstufe II) kann die selbstständige Konstruktion graphischer Systemrepräsentationen nach Bell (2004) eine positive Wirkung entfalten: dies gilt z.B. im Zuge der selbstständigen Wiederholung repräsentierter Inhalte, der eigenen Organisation komplexer Abläufe/Zusammenhänge, der vertieften gedanklichen Auseinandersetzung mit dem zu repräsentierenden System, konstruktionsdynamischen Vorgängen mit generativem Moment, z.B. eigene Entwicklung neuer Fragen und eigene Erkenntnisgewinnung, sowie während des Repräsentationsprozesses selbst. Letzterer fordert dazu auf, das zu Repräsentierende mental nachzuvollziehen

und dient als Abstraktionsgrundlage. Bei bestimmten Repräsentationsformen können zeitbezogene Systemaspekte (Dynamiken) veranschaulicht werden, die zum Aufbau eines lauffähigen mentalen Systemmodells beitragen[16] (Bell 2004). Eine weitere positive Wirkung im Kontext der Wiederverwendung/Rekonstruktion besteht dem Autor zufolge darin, dass die repräsentierten Strukturen als Keimzellen für eine Anpassung an die Gegebenheiten anderer Systeme genutzt werden können und im Rahmen eines advance organizer (Kapitel 2.3.2.3) selbst als Anknüpfungspunkte für nachfolgendes systemisches Denken fungieren können. Dass die positive Wirkung jedoch nicht unbeschränkt gültig ist, sondern durch die individuelle Ausprägung des bereichsspezifischen Vorwissens (zu einem bestimmten Teil) beeinflusst wird, hat die Studie von Hildebrandt (2006) gezeigt: In dieser Untersuchung profitierten ausschließlich Oberstufenschüler/innen mit hohem bereichsspezifischem Vorwissen von der selbstständigen Konstruktion, während für jene mit geringem Vorwissen vorgegebene graphische Repräsentationen (Fluss-/Wirkungsdiagramme) vorteilhafter waren, da die erfolgreiche Selbstkonstruktion durch den Mangel bereichsspezifischer Schemata unterbunden wurde. Der Autorin zufolge ist die Aussagekraft dieser Erkenntnis allerdings einzuschränken, da die Schüler/innen mit sehr komplexen Systemen konfrontiert wurden.

Zur Repräsentation von Systemprozessen bzw. des Systemverhaltens in exakt quantifizierbaren oder qualitativ beschreibbaren Bezugsdimensionen, z.B. Zeit, Größe, Stärke, Intensität, Flussrate, Volumen, Ausmaß, werden v.a. Verlaufsdiagramme/-graphiken eingesetzt, mit deren Hilfe sich Veränderungen bei Bestandsgrößen durch Zu-/Abflüsse sowie Dynamiken in graphischer Form repräsentieren lassen (Booth Sweeney & Sterman 2000; Hildebrandt 2006; Frischknecht-Tobler et al. 2008: 21ff.; Kunz & Bollmann-Zuberbühler 2008: 59ff.). Es gilt dann oftmals entweder den Verlauf in diesem Diagrammtyp einzuzeichnen oder Fragen zu einem in Diagrammform repräsentierten Systemprozess/-verhalten anhand vorgegebener Informationen zu beantworten (Booth Sweeney & Sterman 2000; Ossimitz 2000; Sommer 2005). Ein weiterer Ansatz sieht Fragen auf der Basis eines vorgegebenen Aufgabenstamms mit systemrelevanten Informationen vor (Rempfler & Uphues 2011: 46). Bei quantitativen Angaben kommen u.a. Überführungen in mathematische Gleichungen zum Einsatz (Ossimitz 2002: 164f.).

Bezüglich der Prognose der Systementwicklung verweisen Kunz & Bollmann-Zuberbühler (2008: 62f.) sowie Bräutigam (2014) auf eine Reihe von Studien (u.a. Booth Sweeney & Sterman 2000; Ossimitz 2000; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Bertschy 2007, 2008), in denen in Interviews oder in schriftlichen Fragen retrospektiv Auskünfte zum Verhalten bzw. zur potenziellen Weiterentwicklung gegeben werden sollten. Bei Bräutigam (2014) sollten Prognosen aus graphisch vorgegebenen Modellen entwickelt werden, während bei Sommer (2005) die Auswirkungen bzw. Folgen von Systemveränderungen retrospektiv zu beurteilen gewesen sind. Rieß & Mischo (2008: 224) ließen auf der Basis vorgegebener Informationen zunächst Multiple-Choice-Items zu kurz-/langfristigen Folgen beantworten, die es anschließend in ein Wirkungsdiagramm zu überführen galt (Rieß 2013).

Studien zur Operationalisierung des Bereichs Handlungsentwurf bzw. von konkretem systemgerechten Handeln werden u.a. bei Kunz & Bollmann-Zuberbühler (2008: 62ff.), Rempfler & Uphues (2011: 46) und Bräutigam (2014) überblicksartig vorgestellt: diese beruhen auf Interviews (vgl. Bertschy 2007, 2008) oder Frage-Antwort-Formaten zu einem vorgegebenen System (Bräutigam 2014), das zuvor teilweise computerbasiert gesteuert wird (Leutner & Schrettenbrunner 1989).

---

[16] In diesem Zusammenhang verweist Bräutigam (2014) darauf, „*dass SchülerInnen mit Hilfe von Kausaldiagrammen mentale Modelle simulieren und somit zu weiterführenden Schlussfolgerungen wie Erklärungen, Prognosen und zielgerichteten Eingriffsplanungen gelangen können*“ (ebd., S. 61). Der Autorin zufolge ist es möglich, „*von einer statisch dargestellten (System)Struktur auf dessen (System)Funktionen und -Abläufe*“ (Bräutigam 2014: 63) zu schließen. Voraussetzung ist die Beherrschung der Modellsprache, d.h. die Vertrautheit mit der Repräsentationsweise.

2.2.5 Zusammenfassung und Fazit

Das Systemkonzept dient als Grundlage für die Erfassung von Wirklichkeitsbereichen, auch in der Geographie (vgl. Kapitel 2.1.3.2). Während u.a. biologische Systeme wie etwa Zellen oder Organismen eine klar definierte Systemgrenze besitzen, sind sehr große Gebilde, v.a. immaterieller Art, gedankliche Konstrukte modellhaften Charakters, deren Abgrenzung von der Umwelt aus bestimmten Interessen heraus erfolgt. Systeme zeichnen sich durch bestimmte Merkmale und Eigenschaften aus, die ihre Identität und Funktionsweise bestimmen. Die Vielfalt an potenziell konstruierbaren Systemen kann nach Hildebrandt (2006) in abgeschlossene, geschlossene oder offene, statische oder dynamische, deterministische oder stochastische sowie in stabile oder instabile Systeme unterschieden werden. Rieß (2013) bzw. Rieß et al. (2013: 112f.) differenzieren wie Bossel (2004) hinsichtlich der Komplexität zwischen Nichtsystemen, einfachen und hochkomplexen Systemen, von denen v.a. letztere eine tiefgreifende, i.d.R. computergestützte Analyse und Simulation erfordern. Das (ggf. computergestützt) aus der kognitiven Auseinandersetzung mit einem System hervorgehende mentale Systemmodell wird als Systemwissen in den kognitiven Strukturen festgehalten.

Obschon keine einheitliche Terminologie vorliegt, herrscht Einigkeit, dass es sich bei dem Konstrukt Systemisches Denken um ein Bündel verschiedener Fähigkeiten/Kompetenzen handelt. Deren zentrale Inhalte erweisen sich über Konzeptualisierungen hinweg z.T. als differenziert. Übereinstimmungen zwischen verschiedenen Modellen und Konzeptualisierungen deuten darauf hin, dass im statischen Bereich die Erfassung der Systemgrenze und der konstituierenden Elemente samt ihrer Beziehungen untereinander, die die Systemstruktur begründen, eine zentrale Bedeutung besitzen. Im Prozessbereich betrifft dies die Systemprozesse, die ggf. Emergenzen oder Instabilität hervorrufen können. In ihrer Gesamtheit bewirken sie das Systemverhalten, das sich, wie die einzelnen Merkmale selbst, (u.U.) mit Blick auf die Zukunft prognostizieren lässt. In welchem Rahmen systemisches Denken im Kontext der BNE erfolgt, wird im weiteren Verlauf der Arbeit (Kapitel 3.1) spezifiziert.

In der Praxis herrschen oft unzureichende Herangehensweisen an Systeme vor. In verschiedenen Studien haben jedoch auch Sekundarstufenschüler/innen bereits altersgemäße Formen systemischen Denkens gezeigt. Als eine personale Variable gilt das Ausmaß des bereichsspezifischen Vorwissens. Auch allgemeines kontextuelles Wissen über das Systemkonzept erscheint als Faktor relevant. Die Bedeutung deklarativen/prozeduralen Wissens wird gesehen, teilweise auch die Notwendigkeit für metakognitives Wissen. Nach Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) entfalten des Weiteren higher-order thinking skills im Sinne von Denkfähigkeiten auf den höheren kognitiven Anforderungsstufen bei Bloom et al. (1956) bzw. Anderson et al. (2001) ihre Wirkung. Der Einfluss weiterer personaler Variablen wie Interesse bzw. Motivation oder Alter (Klassenstufe) ist hingegen weniger deutlich belegt.

Durch Übung und angemessene Lernangebote können Leistungen im systemischen Denken verbessert werden. Dies betrifft die Beherrschung von Repräsentationsformen für die Externalisation des Systemwissens. Im Kontext der Studien in Kapitel 2.2.4 zeigt sich die Vielfalt an Verfahren und Vorgehensweisen, mit denen systemisches Denken zu erfassen versucht wird. Nach Bräutigam (2014) sind hiervon bisher (weitestgehend) nur wenige unterschiedliche Fähigkeiten/Kompetenzen betroffen gewesen, wobei der selbstständigen Konstruktion graphischer Repräsentationen, wenn auch unter dem Einfluss individuellen bereichsspezifischen Vorwissens, eine positive Wirkung zugesprochen wird.

Aus der Vielfalt der zur Verfügung stehenden Repräsentationsmöglichkeiten wird im Anschluss eine bestimmte Methode/Technik eingehend betrachtet.

2.3 Concept Mapping

„CONCEPT MAPS are intended to represent meaningful relationships between concepts in the form of propositions."
(Novak & Gowin 1984: 15)

Aus der in Kapitel 2.2.4 vorgestellten Vielfalt an Möglichkeiten zur Repräsentation von Systemwissen werden die von den Autoren angesprochenen Concept Maps (CMs), die von ihrer Struktur her mit Kausal-/Wirkungsdiagrammen verwandt sind, von Sommer (2005) bzw. Sommer & Lücken (2010) explizit als eine gewinnbringende Erfassungsmethode bezeichnet. Concept Mapping gehört zu jenen Erhebungsverfahren, mittels derer kognitive Strukturen externalisiert und gedächtniskonform repräsentiert werden können, u.a. auch im geographischen Kontext (vgl. u.a. Ringel 2012: 183; Tillmann 2011, 2014; DGfG 2012; Jahn et al. 2015; Mehren et al. 2015). Wie andere Repräsentationsformen auch bieten CMs die Möglichkeit, einerseits Gedanken zu explizieren (Funktion als Erfassung-/Diagnoseinstrument) und andererseits das in ihnen Repräsentierte intensiver zu verarbeiten (Funktion als Lernwerkzeug). Ihr Einsatz beruht auf kognitionspsychologischen Erkenntnissen über die Art und Weise, wie (System-)Wissen im Gedächtnis gespeichert wird. Bevor CMs in ihren beiden o.g. Funktionen vorgestellt werden (Kapitel 2.3.2), wird zunächst ein Blick auf die Prozesse der Wissensaneignung/-repräsentation aus kognitionspsychologischer Perspektive gerichtet (Kapitel 2.3.1). Zum Abschluss folgen Zusammenfassung und Fazit (Kapitel 2.3.3).

2.3.1 Repräsentation von Wissen im Gedächtnis

Die Aneignung von (System-)Wissen beschreibt aus Sicht des Konstruktivismus einen aktiven, selbst kontrollierten Kognitionsprozess, der zum Aufbau mentaler Repräsentationen führt, die das angeeignete Wissen beinhalten (Ausubel 2000; Schnotz 2001; Hasselhorn & Gold 2006; Hoffmann & Engelkamp 2013). Da die am Wissenserwerb beteiligten Prozesse den *„Einschränkungen der menschlichen Informationsverarbeitung und den psychologischen Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus von Wissensstrukturen unterworfen*" (Schnotz 2001: 295) sind, wird für ihr Verständnis der Informationsverarbeitungsansatz herangezogen. Hiernach sind die beteiligten Kognitionsprozesse Schritte der Informationsverarbeitung: Aus der Umwelt einwirkende Reizinformation wird von den Sinnesorganen aufgenommen und im Gedächtnis in einem Sensorischen Speicher temporär festgehalten. Wird ihnen Aufmerksamkeit gewidmet, gelangen sie in encodierter Form in das Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis und von dort aus nach maximal einer Minute in das Langzeitgedächtnis, wo sie zum Aufbau überdauernder kognitiver Strukturen beitragen, die das Wissen einer Person konstituieren (Anderson 2007; Hasselhorn & Gold 2006; Brand & Markowitsch 2009: 70ff.). Die Internalisierung neuer Informationen erfolgt zum einen über Assimilationsprozesse, in deren Rahmen sie assoziativ mit bereits vorhandenen kognitiven Strukturen verknüpft werden (Wissensassimilation). Insbesondere durch multiples Verknüpfen bzw. multiples Codieren (Hasselhorn & Gold 2006; Weidenmann 2006: 438f.; Anderson 2007; Brand & Markowitsch 2009: 70ff.; Kaminske 2012; Hoffmann & Engelkamp 2013) kommt es zur stimmigen Integration, sodass die neuen Informationen verstanden werden (Steiner 2001: 203 in Bollmann-Zuberbühler 2008: 103). Das bereits vorhandene Wissen übt darauf einen gravierenden Einfluss aus (Anderson 1984, 2007; Novak 1990; Ausubel 2000; Kinchin 2000; Cañas et al. 2003; Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 170; Weidenmann 2006: 442), indem es den Erwerb und die

Integration umso erfolgreicher verlaufen lässt, je stärker es selbst als Andockstelle genutzt werden kann (Ausubel 2000; Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 170). An der Wissensaneignung sind zum anderen Akkomodationsprozesse beteiligt, bei denen vorhandene Strukturen durch Korrekturmaßnahmen an die neuen Informationen angepasst bzw. weiter ausdifferenziert werden (Ausubel 2000; Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 164). Lernen im Sinne der Informationsaneignung lässt sich aus konstruktivistischer Sicht als ein „*Konstruieren und Modifizieren von Wissensstrukturen definieren*" (Steiner 2006: 164), bei dem Wissen fortwährend aktiv und selbstgesteuert konstruiert und in stetig neuen Lernprozessen modifiziert wird. Hierbei kann es auf semantischer Ebene zur Uminterpration seiner Bedeutung kommen (Steiner 2006: 170f.).

Die Wahrscheinlichkeit für ein langfristiges Behalten von neuen Informationen nimmt mit der tiefgründigen Elaboration auf semantischer Ebene zu. Ist dies nicht der Fall, dann es bei der Rekonstruktion zu Informationsverlusten bzw. zu einer veränderten Darstellung kommen (Bovet 2011: 229). Zudem werden aufgebaute Strukturen durch Spurenzerfall in ihrer Zugänglichkeit umso mehr beeinträchtigt, d.h. vergessen, je länger sie nicht mehr abgerufen werden (Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 174; Anderson 2007). Ebenfalls negativ wirken Überlagerungen (Interferenzen) bei ununterbrochenem Wissenserwerb ohne Zeit zur Konsolidierung sowie fehlende Abrufhinweise für den Zugriff auf bestehende Wissensinhalte (Hasselhorn & Gold 2006; Anderson 2007; Bovet 2011: 228).

Wissen umfasst verschiedene Wissensformen/-arten. Das konzeptuelle Wissen umfasst internalisierte Informationen über Objekte, Personen, Situationen, Ereignisse etc., einschließlich ihrer Zustände und Zustandsänderungen (semantische bzw. episodische Wissensinhalte). Als mentale Konstrukte repräsentieren Konzepte keine spezifischen Eigenheiten, sondern abstrahieren von diesen aufgrund der begrenzten Gedächtniskapazität. Dies geschieht, indem die spezifischen Merkmale und Eigenschaften mental auf jene reduziert werden, die für diese Kategorie von Wissensinhalten jeweils (proto-)typisch sind und die diese von anderen Kategorien auf dem gleichen Abstraktionsniveau unterscheiden. Da sich Wissensinhalte anderen Inhalten unter- oder überordnen lassen, kommen Konzepte auf verschiedenen Abstraktionsniveaus vor. Konzepte niedrigerer Abstraktion können jenen mit höherer Abstraktion untergeordnet sein. Im Laufe der individuellen Entwicklung differenziert sich nach Collins & Quillian (1969) im semantischen Gedächtnis mit der Zeit ein umfassendes konzeptuelles bzw. semantisches Netzwerk (Abbildung 4) mit vielfältigen Hierarchieebenen heraus (Ballstaedt 1997; Ausubel 2000; Anderson 2007; Bernstein et al. 2012; Hoffmann & Engelkamp 2013).

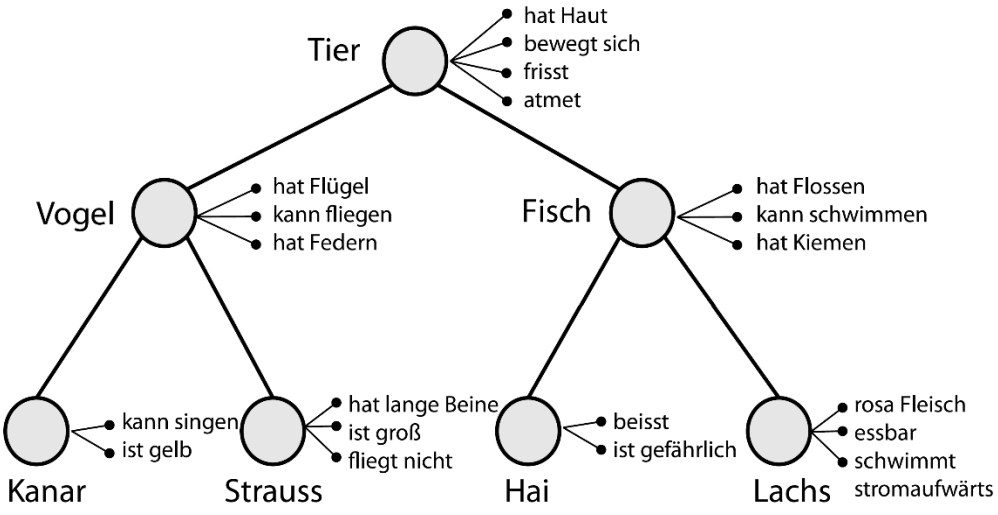


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines semantischen Netzwerks (Hoffmann & Engelkamp 2013)

Nach Jonassen et al. (1997) lässt sich die ausgeprägte hierarchische Struktur aus Ober-/Unterbegriffs-Relationen (branching) als ein Ausdruck für die Integriertheit von Konzepten verstehen: je mehr ein allgemeinerer Oberbegriff mit konkreteren Unterbegriffen verknüpft ist, umso höher ist dessen Elaborationsgrad und umso besser ist er im Wissen verankert (Cronin et al. 1982; Novak & Gowin 1984; McClure et al. 1999). Innerhalb dieses Netzwerks führt die Aktivierung eines Konzepts, entweder durch Wahrnehmung in der Umwelt oder durch verbalen Gebrauch, zur Aktivierung der mit ihm assoziierten Konzepte bzw. es wird diese erleichtert (Anderson 2007; Großschedl 2009; Bernstein et al. 2012; Hoffmann & Engelkamp 2013).

Konzeptuelles Wissen lässt sich nach Dacin & Mitchell (1986) als inhaltsbezogene Wissenskomponente verstehen, die um eine strukturbezogene erweitert wird, die Relationen und größere Wissensstrukturen betrifft. Mit Blick auf diese Strukturkomponente wird davon ausgegangen, dass die semantischen Relationen zwischen Konzepten in einer hypothetischen mentalen Sprache repräsentiert werden. Diese umfasst zum einen Ist-ein- bzw. Ist-ein-Teil-von-Beziehungen sowie zum anderen kausale, zeitliche und räumliche Relationen. Nach der Reduktion wahrgenommener Details geben die abstrakten propositionalen Einheiten die bedeutungshaltige Struktur (Hauptidee/Kernaussage) eines Satzes, Textes oder Bildes wieder (Schnotz 2006: 442; Anderson 2007; Hoffmann & Engelkamp 2013). Propositionen enthalten Informationen, aus denen sich eine selbstständige Aussage bilden lässt, die als wahr oder falsch beurteilt werden kann (Dacin & Mitchell 1986; Engelkamp 1991; Schnotz 1993b, 2001, 2002: 67, 2006: 442; Schnotz et al. 1993; Hasselhorn & Gold 2006; Weidenmann 2006b: 443; Anderson 2007; Bernstein et al. 2012; Hoffmann & Engelkamp 2013). Sie können sich bei gleichen Teilinhalten an gemeinsamen Knoten überlappen bzw. an diesen aneinander andocken und auf diese Weise ein komplexes propositionales Netzwerk bilden, das i.d.R. hierarchisch gegliedert ist (Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 166ff.; Anderson 2007). Abbildung 5 gibt die (in der deutschen Übersetzung fehlerhafte) Darstellung des Satzes »Kinder, die langsam sind, essen Brot, das kalt ist« wieder, wobei die Ellipsen die Propositionen und die beschrifteten Pfeile die Relationen zusammen mit den Argumenten (Subjekt, Prädikat, Objekt, Agent, Zeit) angeben.

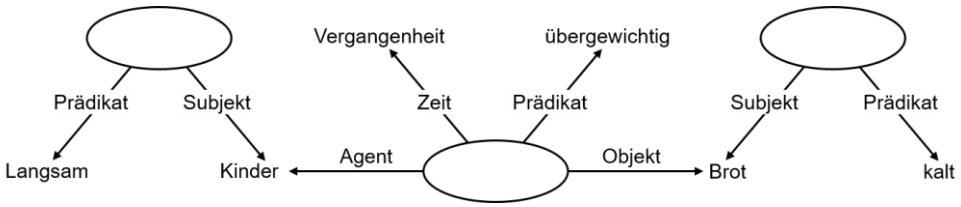


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines propositionalen Netzwerks (Anderson 2007)

Werden innerhalb dieses Netzwerks durch einen Impuls Knoten erregt, breitet sich die Aktivierung über die assoziativen Verknüpfungen, je nach deren Stärke/Qualität, aus (Dacin & Mitchell 1986; Hasselhorn & Gold 2006; Steiner 2006: 170f.; Anderson 2007; Großschedl 2009), sodass „*nah beieinanderliegende Propositionen* […] *zusammen erinnert werden*“ (Bovet 2011: 230). Hierbei spielt die Verwandtschaft der Knoten bzw. der durch sie repräsentierten Konzepte eine Rolle: je mehr Merkmale geteilt werden, umso eher überträgt sich die Ausbreitung zwischen ihnen (Großschedl 2009). Die aktivierten Inhalte und Strukturen konstituieren schließlich das Wissen, „*was einem gerade »durch den Kopf geht« und dadurch zum Inhalt des Arbeitsgedächtnisses wird*“ (Hasselhorn & Gold 2006: 54).

Mit „*the essence of knowledge is structure*“ (Anderson 1984: 5) wird der Verknüpfung singulärer Konzepte zu einer größeren Einheit (Struktur) eine zentrale Bedeutung zugewiesen (vgl. Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo 2004). Dadurch, dass Informationen, die zueinander in Beziehung stehen,

auch im Langzeitgedächtnis als Wissensinhalte assoziativ verknüpft sind, umfasst Wissen weitaus mehr als die bloße Anhäufung singulärer Fakten oder Begriffe (Anderson 1984). Ruiz-Primo et al. (1997a) merken diesbezüglich an:

> *„Assuming that knowledge within a content domain is organized around central concepts, to be knowledgeable in the domain implies a highly integrated conceptual structure.*" (ebd., S. 1)

Die Bedeutung der Relationen zwischen Wissensinhalten (strukturbezogene Wissenskomponente) wird bei Novak (1990, 2002), Goldsmith et al. (1991) und Jonassen et al. (1993) mit der Bezeichnung structural knowledge zum Ausdruck gebracht, dem die konzeptuellen Strukturen bei Hoffmann & Engelkamp (2013) sowie das Zusammenhangswissen bei Fürstenau (2011) gleichzusetzen sind[17]. Sein Ausmaß drückt sich in der Verknüpftheit der Konzepte, d.h. in der Anzahl assoziativer Verknüpfungen aus und wird als ein essenzielles Wesensmerkmal von Wissen bzw. als ein zentrales Gütekriterium für die Qualität von Wissen angesehen (Novak & Gowin 1984; Wallace & Mintzes 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo 2004; Sommer 2005; Yin et al. 2005; Novak & Cañas 2008; Sommer & Lücken 2010). Es bestimmt, wie gut die Inhalte eines Wissensbereichs verstanden werden (Ruiz-Primo et al. 2001b). Bereichsexpert/innen bzw. Lernende mit ausgeprägtem Wissen zeichnen sich gegenüber Noviz/innen bzw. Lernenden mit geringem/keinem Wissen nicht nur durch ein umfangreicheres, sondern auch durch ein in sich stärker verknüpftes (kohärenteres) und ausdifferenzierteres Wissen aus, das ein holistischeres Verständnis einer Domäne oder eines Wissensbereichs ermöglicht (Dacin & Mitchell 1986; Goldsmith et al. 1991; Acton et al. 1994; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Kinchin 2000; Ruiz-Primo et al. 2001a; Klein et al. 2002; Yin et al. 2005; Kazakoff 2009; Kinchin & Cabot 2010). Dies gilt ebenso im Hinblick auf das Verständnis von komplexen Systemen (Hmelo-Silver & Pfeffer 2004; Sommer 2005 bzw. Sommer & Lücken 2010).

Für eine adäquate Wissensdiagnose bedarf es nach Goldsmith et al. (1991) eines sensitiven Erfassungsinstruments, mittels dessen es möglich ist, die Strukturkomponente angemessen zu externalisieren. Dass sich diese Komponente überhaupt externalisieren lässt, geben Hoffmann & Engelkamp (2013) zu erkennen: Auf der Basis von Untersuchungen sind die Autoren zu der Erkenntnis gekommen, dass nur das zusammenhängend reproduziert wird, was auch im Gedächtnis zusammenhängt. Werden Konzepte zusammenhängend repräsentiert, kann eine entsprechende Verknüpfung in den kognitiven Strukturen zugrunde gelegt werden. Dieser Rückschluss ist hypothetischer Natur (Großschedl 2009), da nach Ballstaedt (1997) das Erfassungsinstrument selbst eine Form der Wissensrepräsentation darstellt und nicht das in ihm repräsentierte Wissen. Unter der Annahme derartiger Verknüpfungen heben Jüngst & Strittmatter (1995) die Verwendung netzanaloger Repräsentationsmittel/-formen hervor, in denen Wissen in einer gedächtnisanalogen Knoten-Relationen-Struktur, die mit den o.g. Netzwerken vergleichbar ist, graphisch-verbal repräsentiert wird. In der Vergangenheit sind zahlreiche netzanaloge Methoden, Strategien und Werkzeuge (cognitive tools) entwickelt worden, die die Vermittlung bzw. Aneignung sowie die Repräsentation zum Zweck einer Erhebung/Messung möglich machen (Jonassen et al. 1993; Jüngst & Strittmatter 1995; Hillen et al. 2000: 72). Zu ihnen gehören die Mapping-Techniken[18] (Jonassen et al. 1993), mit deren Hilfe Wissen strukturiert als Begriffsnetz

[17] Rittle-Johnson & Schneider (2015) verweisen darauf, dass „*there is general consensus that conceptual knowledge should be defined as knowledge of concepts. A more constrained definition requiring that the knowledge be richly connected has sometimes been used in the past, but more recent thinking views the richness of connections as a feature of conceptual knowledge that increases with expertise*." (ebd., S. 1103).

[18] Einen Überblick hierzu geben Jonassen et al. (1993), Jüngst & Strittmatter (1995), Cañas et al. (2003) und Eppler (2006).

(kognitive Karte) repräsentiert wird (Ballstaedt 1997; Mandl & Fischer 2000: 3f.).

Mit der Methode Concept Mapping liegt das Augenmerk auf einer speziellen Mapping-Technik, die als geeignet angesehen wird, um beide Wissenskomponenten adäquat zu repräsentieren. Aus diesem Grund wird die Methode nachfolgend ausführlich beleuchtet und in ihren beiden Funktionen als Instrument zur Wissenserfassung/-diagnose bzw. als Lernwerkzeug vorgestellt (Kapitel 2.3.2).

2.3.2 Concept Maps

Aufbauend auf der Theorie des Bedeutungsvollen Lernens von Ausubel (2000) stellen CMs ein graphisches Werkzeug für die Wissensrepräsentation dar, das metakognitive Fähigkeiten/Kompetenzen anspricht (Novak & Gowin 1984; Hoz et al. 1990; Novak 1990; Hippchen 1995; Ballstaedt 1997; Jonassen et al. 1997; Ruiz-Primo et al. 1997b; Weber & Schumann 2000; Cañas et al. 2003; Ruiz-Primo 2004; Nesbit & Adesope 2006; Anohina & Grundspenkis 2009; Fürstenau 2011). Mittels CMs lassen sich unterschiedlichste Wissensbereiche repräsentieren, darunter auch komplexe Nachhaltigkeitsthemen (vgl. Kaivola & Åhlberg 2007: 45) und die Nachhaltigkeitsthematik selbst (vgl. Åhlberg 2004a: 43). Die zugrundeliegende Knoten-Relationen-Struktur ermöglicht es, neben Konzepten, die als Netzwerkknoten in einem Kasten dargestellt sind und Objekte, Ereignisse, Situationen oder Eigenschaften repräsentieren können (Cronin et al. 1982), auch die Bedeutungszusammenhänge zwischen ihnen (Relationen) in Form von beschrifteten Verbindungspfeilen[19] zu veranschaulichen (Novak & Gowin 1984; Hoz et al. 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 2001b; Weber & Schumann 2000: 161; Fürstenau 2011):

> „*Ein Concept-Map eignet sich also sehr gut, um einen Wissensbereich mit den wichtigsten Begriffen und ihren Verzweigungen in einer netzartigen Struktur zu visualisieren*." (Weidenmann 2006, S. 444)

Zwei Konzepte, die uni- oder bidirektional zueinander in Beziehung gesetzt sind, bilden eine Proposition als kleinste semantische Einheit (Abbildung 6).

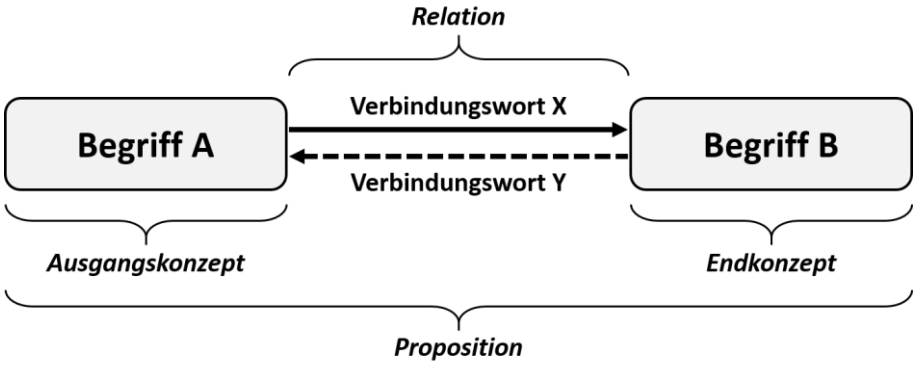


Abbildung 6: Schematische Darstellung einer uni- bzw. bidirektionalen Proposition (eigene Darstellung nach Jahn et al. 2015)

Über die Pfeilbeschriftung kann zum Ausdruck gebracht werden, auf welche konkrete Art und Weise zwei Konzepte in einem Zusammenhang stehen (Novak & Gowin 1984; Hoz et al. 1990; Novak 1990; Ballstaedt 1997; Jonassen et al. 1997; Ruiz-Primo et al. 1997b; Ruiz-Primo 2000; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; Novak & Cañas 2008; Anohina & Grundspenkis 2009; Fürstenau 2011). Durch die

[19] Bezüglich der Beschriftung verweist Åhlberg (2004b, 2008) auf die Bedeutung der Verwendung von Verben, die Fürstenau (2011) um Adjektive und Konjunktionen erweitert.

verbale Spezifikation wird dabei besonders verdeutlicht, „*welche Bedeutung einem Begriff durch seine Einbettung in das Beziehungsgeflecht zu anderen Begriffen innerhalb eines Inhaltsbereichs oder einer Theorie zugewiesen wird*“ (Schramke 1999: 18). Auf der inhaltlichen Ebene sind CMs daher genauer als andere Mapping-Techniken (Fürstenau 2011): möglichst genau konstruierte Propositionen können einen Einblick in das Tiefenverständnis der repräsentierten Konzepte und ihrer Relation(en) geben (Kinchin 2000; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002). Eine intensive Verknüpfungstätigkeit wird daher als ein Anzeichen für bedeutungsvolles Lernen verstanden und zusammen mit der Verarbeitungstiefe als ein entscheidender Ausdruck der strukturbezogenen Wissenskomponente betrachtet: Je stärker ein Konzept mit anderen Konzepten verknüpft ist, desto „*better defined and explicated that concept is*“ (Jonassen et al. 1997: 290).

Mittels CM können verschiedene Arten von Relationen repräsentiert werden, deren Konstruktion nach Derbentseva et al. (2006: 582ff.) bzw. Miller & Cañas (2008: 365ff.) von einer expliziten Instruktion abhängig ist. Es können Relationen logisch-implikativer, räumlich verortender, finaler, modaler oder statischer Art zu Ausdruck gebracht werden, wobei letztere Strukturen, Hierarchien im Sinne von Oberbegriffs-Unterbegriffs-Beziehungen (vgl. Kapitel 2.3.1), Zugehörigkeiten (Schnittmengen, Inklusionen, Bestandteilen oder Charakteristika), Zusammensetzungen oder Kategorisierungen/Klassifikationen betreffen. Des Weiteren sind Relationen, die funktionelle Aspekte (Wechselbeziehungen, Wirkungszusammenhänge, Abhängigkeiten) wiedergeben, sowie Relationen mit prozessualem, zeitlich veränderlichem (dynamischem) Charakter, die Zustandsänderungen in quantitativer/qualitativer Hinsicht ausdrücken, möglich. Ebenfalls ausgedrückt werden können Kausalitäten im Sinne von Ursachen, Folgen und Auswirkungen sowie Korrelationen und Wahrscheinlichkeiten (Ghaye & Robinson 1989 in Kinchin 2000; McClure & Bell 1990; Hippchen 1995; Herl et al. 1999; McClure et al. 1999; Derbentseva et al. 2004: 125ff., 2006: 582ff.; Sommer 2005; Steiner 2006: 171; Miller & Cañas 2008: 365ff.). Bezüglich der Repräsentation zeitlich veränderlicher Aspekte schlagen Kharatmal & Nagarjuna G. (2013: 125ff.) die Verwendung von Strukturkonzepten (eine Veränderung unterlaufende Aspekte) und Prozesskonzepten (eine Veränderung zum Ausdruck bringende Konzepte) vor, die über entsprechende Verbindungswörter verknüpft werden und auf diese Weise einen Veränderungsprozess repräsentieren, wobei der Ausgangs- und Endzustand jeweils als Konzept veranschaulicht wird.

Die Stärken der Methode werden ebenso im graphischen Bereich gesehen: Durch die flexible Darstellungsweise können zusammengehörige Informationen räumlich benachbart und dadurch bereits visuell zusammengehörend angeordnet werden (Fürstenau 2011). Weitere Stärken liegen in der einfachen Lesbarkeit infolge der kurzen und bündigen Informationsdarstellung (Hawk 1986). Auch die vielseitige, flexible Einsetzbarkeit in verschiedensten Wissensbereichen ist vorteilhaft (Daley et al. 2010). Angesichts der methodisch-strukturellen Nähe zu den Kausal-/Wirkungsdiagrammen (vgl. Kapitel 2.2.4 bzw. 2.2.5), ist das in CMs repräsentierte Wissen leicht überführbar in textliche Repräsentationsformen (Ballstaedt 1997) und umgekehrt:

> „*Everything that is spoken or written may be transformed to concept maps, and all good concept maps may be easily transformed back to ordinary speaking or writing.*“ (Åhlberg 2004b: 27).

Bei der Umcodierung wird eine stärkere Elaboration der inhaltlichen Bedeutung gefordert als dies etwa beim Lesen eines Textes oder Zuhören gesprochener Wörter der Fall ist[20] (Nesbit & Adesope 2006).

[20] Die Kombination aus graphischen und verbalen Elementen wird als kognitiv vorteilhaft gesehen, da auf beiden beruhende Informationen im Gedächtnis parallel zueinander verarbeitet und gespeichert werden können (Nesbit & Adesope 2006; Kazakoff 2009; Fürstenau 2011).

Da die dem Concept Mapping zugrundeliegende Theorie von einer hierarchischen Gedächtnisstruktur ausgeht, ist ursprünglich die Relevanz einer hierarchischen CM-Struktur betont worden (Abbildung 7): Einem zentralen Ausgangskonzept auf übergeordneter Ebene sind Konzepte auf niedrigeren Hierarchieebenen untergeordnet, die über Querverbindungen zueinander in Beziehung stehen, und auf diese Weise den Prozess einer durch Wissenserwerb zunehmend ausdifferenzierteren kognitiven Struktur reflektieren (Novak & Gowin 1984; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Cañas et al. 2003).

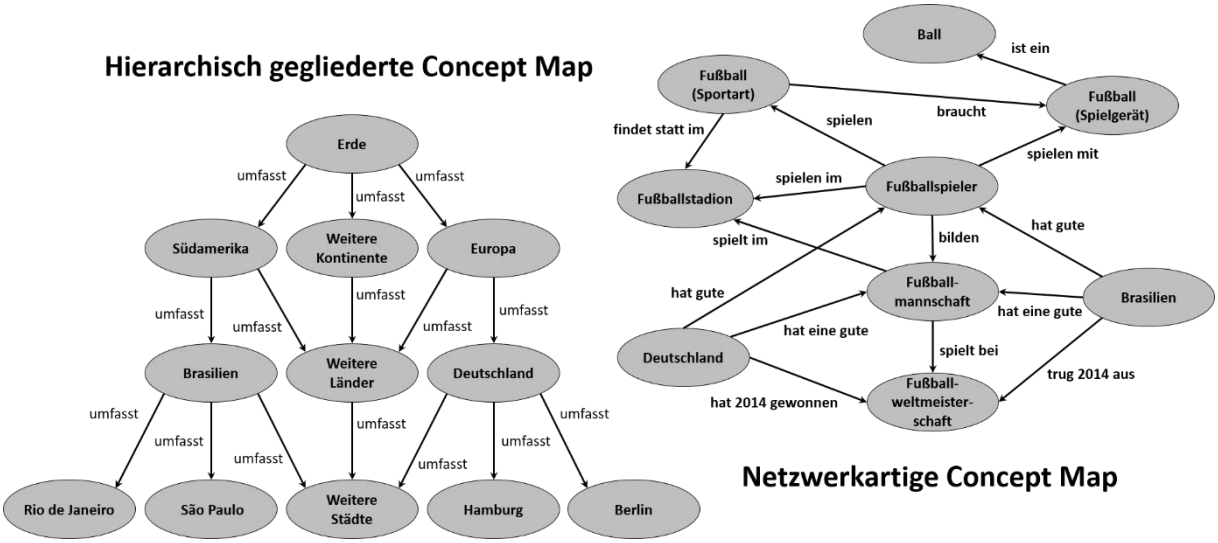


Abbildung 7: Gegenüberstellung von hierarchischer und netzwerkartiger CM (Jahn et al. 2015)

Seit einiger Zeit werden netzwerkartige CMs den hierarchisch strukturierten aus den folgenden Gründen gegenübergestellt (Stracke 2004; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Großschedl 2009; Sommer & Lücken 2010):

- In der Kognitionspsychologie wird inzwischen die Sichtweise favorisiert (vgl. Kapitel 2.3.1), dass Konzepte assoziativ zu semantischen/propositionalen Netzwerken verknüpft sind, die interne Hierarchien aufweisen können, jedoch nicht zwangsweise müssen (Ruiz-Primo & Shavelson 1996).
- Im Hinblick auf den zu repräsentierenden Wissensbereich merken Ruiz-Primo et al. (1997b) aus methodologischer wie konzeptueller Sicht an, dass „*there is no need to impose a hierarchical structure on concept maps if the structure of the content domain to be mapped is not hierarchical*“ (ebd., S. 7). Es obliegt somit der Struktur des Wissensbereichs, ob eine hierarchische oder eine netzwerkartige Repräsentation anzustreben ist (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b; Ruiz-Primo 2004; Åhlberg 2004b, 2008; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005).
- Im Gegensatz zu Noviz/innen, die zu hierarchischer Repräsentation neigen, tendieren Bereichsexpert/innen stärker zu netzwerkartigen Repräsentationen (Großschedl 2009; vgl. Kapitel 2.3.1).
- Kinchin (2000) verweist auf Schwierigkeiten bei der Auswertung hierarchischer CMs, die zu Ergebnisverzerrungen bei quantitativen Auswertungsverfahren führen können.

In ihrer Meta-Analyse berichten Nesbit & Adesope (2006) davon, dass Lernende mit geringerer Sprachfähigkeit von der einfacheren Syntax und der Vorgabe von Konzepten oder Strukturen profitieren. Die Reduktion komplexer Sätze oder Texte auf die schematische Darstellungsweise einer CM wird mit einer Entlastung des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses, und damit einer geringeren kognitiven Belastung, in Verbindung gebracht: Während ein Konzept in einem Text an verschiedenen Stellen vorkommen kann,

ist es in einer CM (idealerweise) nur einmal aufgeführt. Die singuläre Präsenz kann dazu führen, dass die visuelle Suche im Wissensnetz gegenüber dem mehrfachen Vorkommen im Text erleichtert wird. Dies wiederum kann den Nesbit & Adesope (2006) zufolge das Hinzufügen neuer Konzepte und Propositionen begünstigen bzw. die Suche nach vorhandenen effizienter gestalten. Kazakoff (2009) verweist darauf, dass Studien gezeigt hätten, dass manche Lernende von visuellen Formaten stärker profitieren als von rein verbalen. Einen grundsätzlichen Einfluss auf die Quantität und Qualität der Wissensexternalisation übt die Sprachfähigkeit aus (Yin et al. 2005; Rabe 2006). Nach Cronin et al. (1982) tendieren Lernende i.d.R. dazu, einfache Begriffe anstelle wissenschaftlicher Termini oder quantitativer Angaben zu verwenden. In Untersuchungen konnte Kazakoff (2009) feststellen, dass die Formulierung möglichst genauer Propositionen, v.a. bei einer begrenzten individuellen Gedächtniskapazität, mit großen Herausforderungen verbunden sein kann (vgl. Kinchin 2000) und u.U. den gesamten Konstruktionsprozess beeinträchtigt:

> „*during the performance of concept-mapping task, there is a need for the smooth coordination of functioning of the knowledge, strategy, memory and metacognitive components of the information processing system to ensure successful task performance*“ (Kazakoff 2009: 176).

Hiervon betroffen ist v.a. die Versprachlichung der eigenen Gedanken bzw. des eigenen Wissens mittels eines möglichst passenden/präzisen Verbindungsworts. Bei der (stimmigen) Integration eines neuen Konzepts oder einer neuen Proposition in eine bereits bestehende Struktur können unter dieser Bedingung ebenfalls Schwierigkeiten auftreten. Auch die Fähigkeit zur gleichzeitigen kognitiven Verarbeitung einer größeren Anzahl von Konzepten/Relationen sowie die Leistungsfähigkeit des Langzeitgedächtnisses bezogen auf die Prozesse der Speicherung und des Wiederabrufs sind beim Concept Mapping von Bedeutung (Kazakoff 2009).

Aus der Sicht von Kinchin (2000) wirkt sich die Kompatibilität der Methode mit bereits beherrschten Lernstrategien auf eine erfolgreiche Wissensrepräsentation in CMs aus. Als weitere Einflüsse gelten die Lernmotivation sowie das Ausmaß bzw. die Struktur des zu repräsentierenden Wissens (McClure et al. 1999; Kinchin 2000; Sommer 2005; Hardy & Stadelhofer 2006; Novak & Cañas 2008; Sommer & Lücken 2010). Von Bedeutung ist zudem, ob CMs als sinnvolle Werkzeuge zur Wissensstrukturierung wahrgenommen werden (Hardy & Stadelhofer 2006). Die Vertrautheit mit ihrer Theorie und Funktionsweise und den Konventionen der Wissensrepräsentation in ihnen ist ein weiterer Einflussfaktor. Um eine entsprechende Vertrautheit zu schaffen, werden i.d.R. zuerst die Repräsentationsprinzipien theoretisch unterrichtet und im Anschluss daran wird die Konstruktion einer ersten eigenen CM praktisch geübt (Novak & Gowin 1984; Jüngst & Strittmatter 1995; Liu & Hinchey 1996; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ballstaedt 1997; Jonassen et al. 1997; Ruiz-Primo et al. 1997b; McClure et al. 1999; West et al. 2002; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Yin et al. 2005; Sommer 2005; Hardy & Stadelhofer 2006; Novak & Cañas 2008; Fürstenau 2011; Brandstädter et al. 2012; Ringel 2012: 184).

Concept Mapping findet Anwendung zur Wissensdiagnose wie auch als Lernwerkzeug (Mandl & Fischer 2000; Daley et al. 2010). Nachfolgend wird zunächst die Verwendung für die Wissensdiagnose betrachtet, wobei die konkrete Aufgabenstellung und das verfügbare Antwortformat (Kapitel 2.3.2.1) sowie das gewählte Aus-/Bewertungsverfahren (Kapitel 2.3.2.2) von Bedeutung sind (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Ruiz-Primo 2004). Anschließend wird die Verwendung als Lernwerkzeug näher beleuchtet (Kapitel 2.3.2.3).

2.3.2.1 Einsatz zur Wissensdiagnose: Faktor Aufgabenstellung und Antwortverfahren

In ihrem Review über den Einsatz von CMs zur Wissensdiagnose gelangen Ruiz-Primo & Shavelson (1996) zu der Erkenntnis, dass verschiedene Varianten von Aufgabenstellungen mit unterschiedlichen Beanspruchungsgraden zum Einsatz kommen. Die Spannweite reicht entlang eines Kontinuums vom Ausfüllen eines unvollständigen Wissensnetzes (fill-in-the-map-Variante) über die Konstruktion mittels einer vordefinierten Anzahl an Konzepten/Verbindungswörtern bis hin zur völlig freien Konstruktion ohne vorgegebene Parameter (construct-a-map-Variante), sodass selbstgewählte Konzepte und Verbindungswörter zu verwenden sind (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo 2004). Es kann auch die Art und Weise vorgegeben sein, wie die Wissensrepräsentation zu strukturieren ist, z.B. hierarchisch (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Ruiz-Primo 2004). Je weniger Vorgaben bestehen, umso freier und selbstbestimmter kann die CM konstruiert werden.

Nach Kazakoff (2009) führt die Vorgabe der Struktur zu einer geringeren kognitiven Belastung – dies ist besonders für Lernschwächere von Vorteil. Hardy & Stadelhofer (2006) haben in einer Studie zum Verständnis eines Wissensbereichs herausgefunden, dass das Ausfüllen eines lückenhaften Wissensnetzes bzw. das Durcharbeiten einer von Expert/innen erstellten CM zu einem besseren Verständnis der Materie führt als die freie Konstruktion. Es ist jedoch grundsätzlich zu beachten, dass sich die Art der Aufgabenstellung auf die externalisierten Wissensstrukturen auswirkt. Bei einer Vergleichsstudie zwischen einer Variante mit vorgegebenen Konzepten und zweien mit vorgegebenen Konzepten und Verbindungswörtern konnten Ruiz-Primo et al. (2001b) Unterschiede in den Herangehensweisen an die Konstruktion identifizieren: Während bei der offeneren Variante inhaltsbezogene Denkprozesse stärker zum Einsatz kamen, individuelle Äußerungen, die auf ein tieferes Verständnis des behandelten Wissensbereichs schließen lassen, häufiger vorkamen und individuelle Fehlvorstellungen offenkundiger wurden, trat bei den geschlosseneren Varianten ein Abgleich der vorgegebenen Parameter mit den eigenen Vorstellungen sowie einfache Ausschlussverfahren und Rateprozesse bezüglich potenziell richtiger Konzepte/Verbindungswörter in den Vordergrund; dies galt v.a. für leistungsschwächere Schüler/innen, die die Trial-and-Error-Methode häufiger einsetzten. Ferner zeigten sich bei den geschlosseneren Varianten stärkere Deckeneffekte auf der Inhaltsebene (Ruiz-Primo et al. 2001b). Wie Ruiz-Primo et al. (2001a) feststellen, werden bei den verschiedenen Concept-Mapping-Varianten durchaus unterschiedliche Wissensaspekte externalisiert (vgl. Ruiz-Primo & Shavelson 1996[21]). Bei den geschlosseneren Varianten kann die Vorgabe beispielsweise zu einer Einengung bei der Wissensrepräsentation führen (Liu & Hinchey 1996; Derbentseva et al. 2004: 125ff.): In einer Vergleichsstudie haben Yin et al. (2005) festgestellt, dass bei einer offeneren Variante mehr Propositionen erstellt wurden als bei vorgegebenen Verbindungswörtern. Die Autor/innen führen dies darauf zurück, dass die Vorgabe „*prevented the students from fully expressing their knowledge, especially their partial knowledge*" (ebd., S. 176). Der Abgleich vorgegebener Parameter auf eine Passung mit dem eigenen Wissen kann den Konstruktionsprozess verlangsamen und bei der Wissensdiagnose zu Auswertungs-/Interpretationsfehlern führen. Zudem kann die Erfassung interindividueller Differenzen beeinträchtigt werden (Shavelson & Ruiz-Primo 2005; Yin et al. 2005). Auch aus der Sicht von Jonassen et al. (1997) wird das Verständnis von Konzepten/Relationen durch die Vorgabe von Begrifflichkeiten eingeengt. Offenere Varianten bieten die Möglichkeit, eigene Parameter zu verwenden und deren Anzahl selbst zu bestimmen, wodurch umfangreichere und möglicherweise validere Informationen über die zugrundeliegenden Wissensstrukturen gewonnen werden können (Rabe 2006; Williams 1998; Ruiz-Primo et al. 2001a, 2001b; Yin et al. 2005).

[21] In einer späteren Studie berichten Shavelson & Ruiz-Primo (2005) von keinen signifikanten Unterschieden mehr.

Ruiz-Primo und Kollegen kommen zu dem Schluss, dass durch die verschiedenen Aufgabenvarianten unterschiedliche Wissensaspekte erfasst werden und dass zu enge Vorgaben potenziell zu Fehlern bei der Interpretation führen können. Offenere Varianten erscheinen den Autor/innen insgesamt besser dazu geeignet, um die inhalts- und v.a. auch die strukturbezogene Wissenskomponente adäquat zu erfassen (vgl. Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 2001a, 2001b; Ruiz-Primo 2004). Yin et al. (2005) beschreiben die Vorzüge der offeneren Variante zusammenfassend wie folgt:

> „*Compared with the fill-in-a-map technique (in which students fill in a pre-drawn map), the* [construct-a-map; Anm. des Autors] *technique (1) more accurately reflected differences of students' knowledge structures; (2) provided greater latitude for demonstrating students' partial understanding and misconceptions; (3) supplied students with more opportunities to reveal their conceptual understanding; and (4) elicited more high-order cognitive processes, such as explaining and planning.*" (ebd., S. 176)

Offenere Varianten werden aufgrund der größeren Selbstbestimmtheit mit positiven Effekten auf die Motivation und das Behalten in Verbindung gebracht (Bernd et al. 2000: 32). Zugleich besteht potenziell die Gefahr, dass zwar sachlich-logisch und u.U. auch thematisch richtige, jedoch für die spezifische Aufgabenstellung nicht relevante bzw. nicht essenzielle Konzepte und/oder Relationen erstellt werden, die über hohe Häufigkeiten zu Verzerrungen in den Auswertungsergebnissen führen können (Ruiz-Primo 2000). Ferner ist durch die Notwendigkeit zur eigenen Formulierung und Überprüfung auf Richtigkeit eine größere Belastung des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses gegeben (Eckert 1998; Ruiz-Primo et al. 2001b).

Neben der Aufgabenstellung identifizieren Ruiz-Primo & Shavelson (1996) den Antwortmodus, d.h. das konkrete Mittel, mit dessen Hilfe Wissen repräsentiert werden kann, als einen weiteren bedeutenden Faktor. Den Autor/innen zufolge kann die Art der Aufgabenstellung mitunter spezifische Antwortformate bedingen. Grundsätzlich sind orale, schriftlich fixierte bzw. computerbasierte Antwortmodi zu unterscheiden. Eckert (1998) und Stracke (2004) diskutieren die Vor- und Nachteile der Papier-Bleistift-Methode gegenüber dem computerbasierten Ansatz. Beide kommen zu dem Schluss, dass die digitale Variante mit praktischen Vorteilen verbunden ist: dies betrifft sowohl flexiblere Repräsentationsmöglichkeiten (einfache Relokalisierung von Parametern) als auch wesentlich einfachere Modifikationsoptionen wie das Hinzufügen oder Löschen neuer Parameter auf dem Computerbildschirm (vgl. Mandl & Fischer 2000: 4; Novak & Cañas 2008). Aus der Sicht von Eckert (1998) führt die digitale Variante zu einer geringeren kognitiven Belastung und erhöht die Wahrscheinlichkeit für Modifikationen in einem späteren Konstruktionsstadium. Infolgedessen kann, so der Autor, Wissen besser bzw. genauer repräsentiert werden, da es zu geringeren motivationalen Einflüssen kommt. Brandstädter et al. (2012) stellten in einer Vergleichsstudie zum systemischen Denken fest, dass computergenerierte CMs signifikant besser waren als jene mittels Papier und Bleistift (vgl. Royer & Royer 2004); dieser Effekt war bei Viertklässlern stärker ausgeprägt als bei Achtklässlern und kann u.U. mit zunehmendem Alter abnehmen. Die Differenzen führen Brandstädter et al. (2012) auf die Flexibilität bei der digitalen Repräsentation zurück, der Royer & Royer (2004) motivationale Aspekte hinzufügen. Über die konstruktionsbezogenen Aspekte hinaus bieten zahlreiche Software-Produkte Optionen für einen automatisierten Vergleich von CMs und eine automatisierte quantitative Auswertung, die nach Mandl & Fischer (2000a: 4) umfangreichere Information liefert und nach Eckert (1998) und Stracke (2004) bestimmte Auswertungsverfahren erst überhaupt ermöglicht; sie ist zudem zeitökonomischer. Bei der digitalen Konstruktion sind personale Einflussgrößen wie individuelle Fähigkeiten und Erfahrungen im Umgang mit Computern zu berücksichtigen, die einen Einfluss auf den Konstruktionsprozess und das damit verbundene Ergebnis ausüben können (vgl. Jahn et al. 2015: 347).

2.3.2.2 Einsatz zur Wissensdiagnose: Faktor Auswertungsverfahren

Der Einsatz von CMs als Instrument für die Wissensdiagnose konzentriert sich auf die Untersuchung des externalisierten Wissens zum Zeitpunkt der Erhebung, z.B. des Vorwissensstandes, sowie auf die Erfassung von Wissensveränderungen als Folge von Lernprozessen (Rabe 1996; Hillen et al. 2000: 72). Auf der Basis der in einer CM repräsentierten Strukturen kann ein Rückschluss auf die Gestalt und den Elaborationsgrad des zugrundeliegenden Wissens gezogen werden[22], wobei Kinchin (2000) die in Tabelle 7 einander gegenübergestellten charakteristischen Unterschiede zwischen Expert/innen und Noviz/innen aufführt.

Tabelle 7: CM-Differenzen zwischen Expert/innen und Noviz/innen nach Kinchin (2000)

CMs von Expert/innen	CMs von Noviz/innen
Hohe innere Vernetzung	Unzusammenhängende Teilstrukturen mit niedrigem Komplexitätsgrad
Qualitativ hochwertige Propositionen	Häufig nur ein einziges, i.d.R. unpassendes und allgemeines Verbindungswort
Hohe Vielfalt an unterschiedlichen Verbindungswörtern	Wiederholte Verwendung weniger Verbindungswörter
Zeitliche Veränderbarkeit der Wissensstruktur durch Anpassung/Modifikation	Zeitliche Stabilität der Wissensstruktur durch fehlende Anpassung/Modifikation
Verwendung von abstrakt(er)en Oberbegriffen	Konzentration auf spezifische Konzepte (Unterbegriff)

Im Rahmen der Wissensdiagnose lassen sich neben interindividuellen Differenzen (Liu & Hinchey 1996; Cañas et al. 2003; Fürstenau 2011) auch Fehlvorstellungen identifizieren (Wallace & Mintzes 1990; Jonassen et al. 1997; Kinchin 2000; Cañas et al. 2003; Yin et al. 2005; Rabe 2006; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Daley et al. 2010; Sommer & Lücken 2010).

In Abhängigkeit zur Aufgabenstellung besitzt das Auswertungsverfahren einen starken Einfluss auf die wissenschaftliche Güte der Wissensdiagnose (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 2001a; Ruiz-Primo 2004). Mit Blick auf eine systematische Auswertung ist zwischen der Einzelauswertung, dem Abgleich mit einem Referenznetz und der Kombination beider Verfahren zu unterscheiden (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Anohina & Grundspenkis 2009). Vom methodischen Standpunkt aus kann die Auswertung nach quantitativen bzw. qualitativen Gesichtspunkten erfolgen. Im Zuge einer Zusammenfassung der Auswertungsverfahren in 16 Concept-Mapping-Studien kommen Anohina & Grundspenkis (2009) zu der Erkenntnis, dass überwiegend ein quantitativer Ansatz verfolgt wird, während kombinierte Vorgehensweisen nur selten zur Anwendung kommen und ausschließlich qualitative überhaupt nicht verwendet werden.

Bei quantitativen Auswertungsverfahren wird unter graphentheoretischen Gesichtspunkten z.B. die Anzahl der Konzepte, Relationen bzw. Propositionen (Umfang) oder der Teilnetze gezählt. Strukturbezogene Aspekte werden mittels graphentheoretischer Indices wie dem Verknüpfungsgrad, der Knotenzentralität, der Distanz zwischen Knoten oder der Zerklüftetheit ermittelt. Des Weiteren wird die strukturelle Form, d.h. die Art der Repräsentation in Form eines Netzwerks, Kreislaufs oder einer Kette etc. bestimmt (Eckert 1998; Weber & Schumann 2000: 173; Stracke 2004; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Sommer & Lücken 2010; Fürstenau 2011; Brandstädter et al. 2012). Bei vorgegebenen Parametern kann ein Abgleich mit einem unabhängigen Referenznetz durchgeführt werden, das z.B. auf der Grundlage intendierter Lernziele oder einer Expertenmap erstellt wird (Eckert

[22] Wie andere Mapping-Techniken auch bietet die Methode einen indirekten, inhalts-/aufgabenspezifischen Zugang zu kognitiven Strukturen (Jonassen et al. 1997; Weber & Schumann 2000: 172; Ruiz-Primo et al. 2001a; Großschedl 2009).

1998; Herl et al. 1999; Cañas et al. 2003; Stracke 2004; Schaal 2006; Großschedl 2009). Im Rahmen einer computerbasierten Korrespondenzanalyse wird über quantitative Indices (Korrespondenzkoeffizienten) der Übereinstimmungsgrad mit dem Referenznetz bestimmt (Eckert 1998; Osmundson et al. 1999; Stracke 2004; Schaal 2006), wobei dieser separat für Konzepte und Relationen/Propositionen ermittelt werden kann (Anohina & Grundspenkis 2009). Der automatisierte Abgleich ist sehr zeitökonomisch und ermöglicht die Auswertung einer großen Anzahl an CMs (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Yin et al. 2005). Fürstenau (2011) stellt die Aussagekraft dieser Indices insofern infrage, als dass „*beispielsweise ein größerer Umfang nicht gleichbedeutend mit größerer Qualität ist*" (ebd., S. 47). Aus der Sicht von Kinchin (2000) führen quantitative Auswertungsverfahren zu einer starken Reduktion der komplexen Informationen über das externalisierte Wissen auf wenige statistische Einzelwerte, die i.d.R. nur wenig Aussagekraft bezüglich der Wissensqualität/-güte besitzen und u.U. sogar zu Fehlinterpretationen führen können, wenn z.B. gleiche Auswertungsergebnisse vorliegen. Der Autor argumentiert deshalb für den Einsatz qualitativer Ansätze, die wesentlich aufschlussreichere Informationen über die Qualität/Güte des Wissens geben und besser interindividuell differenzieren können.

Bei qualitativen Auswertungsverfahren, die v.a. bei offeneren Concept-Mapping-Varianten zum Einsatz kommen, erfolgt eine manuelle Bewertung. Nach Gouli et al. (2005) lassen sich dabei verschiedene Fehlerarten auf der propositionalen Ebene feststellen. Propositionen werden häufig dichotom als richtig/falsch bewertet bzw. es wird der Grad ihrer inhaltlichen Qualität/Genauigkeit bestimmt (Hoz et al. 1990; McClure & Bell 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b, 2001a; Rice et al. 1998; McClure et al. 1999; Osmundson et al. 1999; Shavelson & Ruiz-Primo 2005; Kazakoff 2009; Fürstenau 2011). Die Bewertung erfolgt oft im Rahmen einer Korrespondenzanalyse (Hoz et al. 1990; Wallace & Mintzes 1990; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Rice et al. 1998; Williams 1998; Herl et al. 1999; McClure et al. 1999; Rye & Rubba 2002; Fürstenau 2011). Von besonderer Bedeutung sind die vier nachfolgend dargestellten Bewertungsschemata:

- *McClure & Bell (1990)* bzw. *McClure et al. (1999)*: Das formalisierte Auswertungsprotokoll der relational scoring method bewertet die Richtigkeit/Korrektheit von Propositionen auf der Basis der beiden Komponenten Verbindungspfeil und Verbindungswort. Die Methode kann mit und ohne den Abgleich mit einem Referenznetz durchgeführt werden[23]. Verschiedene Fehler bei den beiden o.g. Parametern werden unterschiedlich stark gewichtet und mit unterschiedlich vielen Punkten bewertet: Während Propositionen mit einem falschen Verbindungswort nur einen von insgesamt drei möglichen Punkten erhalten, wird ein falsch herum dargestellter Verbindungspfeil, bei dem das Verbindungswort jedoch eine Beziehung korrekt andeutet, mit zwei Punkten bewertet[24]. Ergeben Pfeil und Wort eine richtige Beziehung, werden drei Punkte vergeben.
- *Klein et al. (2002)*: Die Autor/innen verwenden ein Schema, bei dem die Korrespondenz mit zwei Expertenmaps als Referenz bewertet wird. Von Proband/innen konstruierte Propositionen, die von Expert/innen zuvor als besonders wichtig bewertet wurden, werden mit zusätzlichen Punkten ebenso honoriert wie jene Propositionen, die nicht als derart wichtig bewertet wurden, jedoch

[23] Die Autoren stellen diesbezüglich fest: „*That the relational scoring method has the lowest cognitively complex is consistent with the observed increase in score reliability, when this method was augmented with a master map*" (McClure et al. 1999: 489). Sie kommen schließlich zu der Erkenntnis, dass „*scoring maps using a relational method with a master map might be considered a practical alternative to assessing similarity between the teachers' and students' concept maps*." (ebd., S. 489).

[24] Gouli et al. (2005) sehen eine falsche Pfeilrichtung ebenfalls als weniger fehlerhaft (falsch) an als ein falsches Verbindungswort. Yin et al. (2004, 2005) vergeben für eine falsche Pfeilrichtung einen von drei Punkten, „*because even though the relationship was wrong, the student was given credit for at least pointing out the existence of the relationship between the two terms.*" (ebd., S. 173).

prinzipiell für das behandelte Thema gleichfalls relevant sind[25] (vgl. Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a). Thematisch prinzipiell richtige Propositionen erhalten einen Punkt, während Propositionen, die in einem der beiden Expertennetze vorkommen, mit zwei Punkten bewertet werden. Die Höchstzahl von drei Punkten geht an korrespondierende Propositionen, wenn diese von einem Experten bzw. einer Expertin als besonders wichtig bewertet wurden. Die von beiden vergebenen Punkte werden schließlich zu einer Gesamtpunktzahl addiert.

- *Rye & Rubba (2002)*: Das von den Autoren eingesetzte Schema bewertet in erster Linie die Korrespondenz mit einem Referenznetz und in zweiter Linie die thematische Richtigkeit. Propositionen, die sinngemäß mit dem Referenznetz übereinstimmen, erhalten die volle Punktezahl (sechs Punkte). Vier Punkte werden für gültige und zugleich thematisch relevante Propositionen vergeben, die entweder zwischen zwei im Referenznetz nicht miteinander verbunden Konzepten erstellt sind oder zwischen einem Konzept aus dem Referenznetz und einem selbst generierten. Die niedrigste Wertung von zwei Punkten erhalten thematisch relevante Propositionen, die zwei nicht übereinstimmende Konzepte miteinander verbinden.
- *West et al. (2002)*: Das Schema der Autor/innen ist eine modifizierte Variante von McClure & Bell (1990) bzw. McClure et al. (1999), wobei die thematische Relevanz der Propositionen in den Vordergrund gerückt wird. Für eine an sich richtige Proposition, bei der ein falsches Verbindungswort verwendet wird, gibt es einen von drei möglichen Punkten. Richtige Propositionen mit einem gültigen Verbindungswort werden mit zwei Punkten bewertet, wenn ihnen keine zentrale Relevanz für das behandelte Thema zugrunde gelegt wird. Die volle Punktezahl erhalten ausschließlich richtig repräsentierte Propositionen mit hoher thematischer Relevanz. Durch die Addition der von mehreren Expert/innen vergebenen Punkte wird die Gesamtpunktzahl ermittelt.

Die qualitative Bewertung wird i.d.R. durch zwei oder mehr Auswerter (Rater) unabhängig voneinander durchgeführt, deren Ergebnisse auf Interrater Reliabilität (Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a; McClure et al. 1999; Osmundson et al. 1999; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; West et al. 2002; Sommer & Lücken 2010; Brandstädter et al. 2012), Interrater Agreement (Rice et al. 1998; Herl et al. 1999; Hardy & Stadelhofer 2006) oder beides (Stoddart et al. 2000; Yin et al. 2004, 2005) miteinander verglichen werden[26]. Die qualitative Bewertung sieht sich mit der Herausforderung konfrontiert, wie individuell erstellte Propositionen interindividuell valide, reliabel und objektiv ausgewertet werden können (Ruiz-Primo et al. 2001a; Yin et al. 2005). Die propositionsbasierte Bewertung liefert nach McClure et al. (1999) validere und reliablere Auskünfte über die zugrundeliegenden kognitiven Strukturen als die Gesamtbetrachtung einer CM oder der darin enthaltenen Teilstrukturen, da erstere den in Kapitel 2.3.2 angesprochenen Aufschluss über die Tiefe des Verständnisses des externalisierten Wissens liefert (vgl. Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; McClure et al. 1999; Ruiz-Primo 2004; Yin et al. 2005):

[25] Die Stärken dieses Schemas fassen die Autor/innen wie folgt zusammen: „*Students were given credit for knowing basic facts – valid links that experts do not generally bother putting into their knowledge maps* […]. *Conversely, since experts identified key, critical links, students were given supplementary credit for identifying particularly crucial conceptual links – adding more information to our prior scoring approach*." (Klein et al. 2002: 8).

[26] Tinsley & Weiss (2000: 95ff.) sowie Gisev et al. (2013) verweisen auf die inkonsistente und z.T. synonyme Verwendung der beiden Konstrukte. Gemäß den Autor/innen besitzen sie einen entscheidenden Unterschied: Während Interrater Agreement das Ausmaß angibt, zu dem zwei oder mehr Rater zu exakt dem gleichen Bewertung gelangen, beschreibt Interrater Reliabilität das Ausmaß, zu dem zwei oder mehr Rater trotz unterschiedlicher Bewertungen zu einer gleichen Rangreihenfolge ihrer Bewertungen kommen. Ersteres drückt das Ausmaß der absoluten Übereinstimmung aus, wohingegen letztere ein Ausdruck für die relative Zuverlässigkeit mit Blick auf eine gleiche Rangreihenfolge (unabhängig von absoluten Werten) ist. Tinsley & Weiss (2000) gelangen zu dem Schluss, dass beide Auswertungsmaße notwendig sind.

> *„A proposition is the basic unit of meaning in a concept map and the smallest unit that can be used to judge the validity of the relationship drawn between two concepts (e.g., Dochy, 1996)*“ (Ruiz-Primo 2000: 32).

Aus der Sicht von Weber & Schumann (2000: 173) ergibt dieser Auswertungsansatz lediglich Informationen über die Existenz isolierten Faktenwissens. Es ist den Autoren zufolge deshalb vielmehr eine holistische Auswertung auf der Ebene der gesamten Wissensrepräsentation notwendig, um Auskunft über größere strukturelle Muster, Denkfiguren und Sinneinheiten zu erhalten, die Argumentationslinien, Haupt-/Nebeneffekte oder Cluster betreffen[27]. Kinchin (2000) verweist zudem auf die Bedeutung der Berücksichtigung falscher/ungültiger Propositionen bei der Bewertung, da diese u.U. Informationen über den Denkprozess des Konstrukteurs bzw. der Konstrukteurin liefern und ggf. für das Verständnis benachbarter Propositionen von Bedeutung sind. Ferner ist zu beachten, dass von mehreren Konstrukteuren unterschiedlich erstellte Propositionen teilweise oder ganz richtig sein können:

> „*Unlike traditional multiple-choice tests, there is clearly no one “correct” knowledge map for a given topic domain. A variety of student knowledge maps containing different sets of propositions all could score well in comparison to experts’ maps.*“ (Klein et al. 2002: 9)

Die Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Vorgehensweise bei der Auswertung wirkt sich auf die Güte bzw. Sensitivität des Bewertungsverfahrens aus und kann zu verzerrten Ergebnissen führen, wie das Beispiel von Kinchin (2000) verdeutlicht:

> „*However,* […] *the teacher has to decide what to acknowledge and what to ignore. If the teacher is only looking for propositions from his/her own map, then the map is awarded 30%* […]. *If, however, credit is given for other sensible ideas within the map, then the score jumps to 110%* […]. *On the positive side, it can be seen that students can score more than 100% (by having more propositions than the expert map) and this would have a strong motivating effect. On the negative side, it can be imagined that a student could score 100% or more with a map that contained none of the propositions in the teacher's map. This may give a false impression of achievement. The scorer also has to decide whether or not to deduct marks for factually incorrect propositions (*[…]*, reducing the score here to 90%). This could reduce a student's score to zero if enough incorrect propositions were included, even though some excellent ideas may also be represented.*“ (ebd., S. 3–20)

Auf der Makroebene steht bei quantitativen wie qualitativen Ansätzen der strukturelle Gesamteindruck im Mittelpunkt (Hoz et al. 1990; McClure et al. 1999). Bei einer hierarchischen Struktur werden zudem entsprechende Hierarchieaspekte analysiert (Novak & Gowin 1984; McClure et al. 1999).

Ruiz-Primo & Shavelson (1996), Ruiz-Primo et al. (2001a) und Ruiz-Primo (2004) geben zu erkennen, dass die wissenschaftlichen Gütekriterien der verschiedenen quantitativen und qualitativen Auswertungsverfahren bisher kaum ausgiebig ermittelt worden sind. Bei einer Betrachtung bisheriger Studien zur Wissensdiagnose zeigen sich jedoch Hinweise auf deren Erfüllung:

a.) Die Validität, die hypothetisch zugrundeliegenden kognitiven Strukturen tatsächlich auf eine adäquate Art und Weise zu erfassen, kann zu einem gewissen Maße durch die Art der Aufgabenstellung und das Wissen der Rater bei der Auswertung beeinträchtigt werden (Ruiz-Primo & Shavelson 1996;

[27] Die Autoren weisen auf Schwierigkeiten bei der Beurteilung von Konzepten hin, die als ein Label für einen ganzen Komplex inhaltlicher Informationen zu verstehen seien, weshalb es aus ihrer Sicht keinen Sinn macht und mitunter unmöglich ist, „*einzelne Propositionen auf richtig oder falsch hin einzuschätzen*.“ (Weber & Schumann 2000: 173).

McClure et al. 1999; Cañas et al. 2003). Nachfolgendend werden Inhalts-, Konstrukt-, Übereinstimmungs- und Prognostische Validität als Teil von Kriteriumsvalidität sowie die Sensitivität näher beleuchtet:

- *Konstruktvalidität*: Als Erhebungsinstrument wurden CMs entwickelt, um einen adäquaten Einblick in kognitive Strukturen zu ermöglichen. Aus verschiedenen Gründen werden dabei neben hierarchischen ebenfalls netzwerkartige CMs als Bewertungsgrundlage herangezogen. Mit diesem Schritt wird gemäß der Forderung von Ruiz-Primo & Shavelson (1996), „*how we assess a knowledge structure should be consistent with how we assume knowledge is organized*" (ebd., S. 573), eine konzeptionelle Verbindung zwischen den kognitiven Strukturen und dem zu ihrer Erfassung eingesetzten Instrument (CM) hergestellt. In diesem Zusammenhang gilt es zu bedenken, dass Concept Mapping grundsätzlich ein reaktives Verfahren darstellt, bei dem während der Konstruktion Lernprozesse einsetzen, die sich auf den Prozess als solchen selbst auswirken können (Jüngst & Strittmatter 1995; Eckert 1998). Bereits Novak & Gowin (1984) haben angedeutet, dass bei der Konstruktion u.U. Relationen erstellt werden, die in dieser Form so vorher nicht bewusst gewesen sind. Erkenntnisse über das Ausmaß sind jedoch nicht bekannt.
- *Inhaltsvalidität*: Wegen der Bedeutsamkeit der strukturbezogenen Wissenskomponente, die v.a. bei Bereichsexpert/innen stark ausgeprägt ist, wird die Auswertung durch diese mit Blick auf die Korrektheit und Relevanz der Parameter als inhaltsvalide erachtet (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997b; Klein et al. 2002). Gleiches gilt für den Abgleich mit einem von Expert/innen unabhängig erstellten Referenznetz[28] (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Stracke 2004).
- *Übereinstimmungsvalidität* bzw. *Konkurrente Validität*: Nach Ruiz-Primo & Shavelson (1996) bzw. Ruiz-Primo et al. (1997b) liegen inkonsistente Erkenntnisse bezüglich der Übereinstimmung von CM-Ergebnissen mit den Ergebnissen anderer Erhebungsmethoden vor: Während in manchen Studien positive Korrelationen gefunden wurden (vgl. Rice et al. 1998), zeigen andere Studien, dass mittels CMs andere Wissensaspekte erfasst werden (vgl. Hoz et al. 1990; McClure & Bell 1990). Ruiz-Primo et al. (1997b) kommen aufgrund moderater Korrelationen zwischen CM-Ergebnissen und Multiple-Choice-Testergebnissen zu der Erkenntnis, dass „*both types of assessment measure overlapping and yet somewhat different aspects of declarative knowledge*" (Ruiz-Primo et al. 1997b: 23). Novak et al. (1983), Hoz et al. (1990), Cañas et al. (2003), Stracke (2004) sowie Shavelson & Ruiz-Primo (2005) kommen jeweils zu dem Schluss, dass CMs im Vergleich zu konventionellen psychometrischen Diagnoseinstrumenten zwar ähnliche, jedoch nicht identische Wissensaspekte erfassen[29]. Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) verweisen ebenfalls auf Unterschiede zwischen CMs und anderen Testinstrumenten. Dies könnte damit zusammenhängen, dass CMs – gemäß ihrer Bestimmung – möglicherweise in einem stärkerem Maße als andere Instrumente auf die Repräsentation der strukturbezogenen Wissenskomponente abzielen (Markham et al. 1994; Kinchin 2000; Fürstenau 2011). Rice et al. (1998) betonen in diesem Kontext den Einfluss, den das Auswertungsschema besitzt: „*scores resulting from different scoring methods reflect different types of abilities*" (Rice et al. 1998: 1106). McClure et al. (1999)

[28] Dem Abgleich liegt die Annahme zugrunde, dass Bereichsexpert/innen einen Wissensbereich auf eine ideale Art und Weise inhaltlich-strukturell repräsentieren können (Goldsmith et al. 1991; Acton et al. 1994; Ruiz-Primo & Shavelson 1996). Für Jonassen et al. (1997) ist dieser Ansatz problematisch, da sich die Frage nach den Konstrukteuren (und ihrer Legitimität) stellt. Ferner ist es den Autor/innen zufolge aus konstruktivistischer Perspektive fragwürdig, ob der Abgleich individuellen Wissens mit einem allgemeingültigen Referenznetz durchgeführt werden sollte.

[29] Liu & Hinchey (1996) stellen eine geringe Übereinstimmung zwischen CM-Ergebnissen und den Ergebnissen einer Reihe anderer konventioneller Tests (multiple choice, matching subsets etc.) fest, die sie allerdings auf eine geringe interne Konsistenz des zugrunde gelegten CM-Auswertungsschemas zurückführen.

haben im Rahmen eines Vergleichs von qualitativen Auswertungsverfahren eine weitgehend signifikante Übereinstimmungsvalidität feststellen können.

- *Prognostische Validität*: Cañas et al. (2003) berichten von Studien, in denen CM-Ergebnisse zu einem relativ hohen Maße als Prädiktor für das Leistungsverhalten bei anderen Fähigkeiten herangezogen werden konnten (vgl. Liu & Hinchey 1996; Rye & Rubba 2002). Eine geringe interne Konsistenz des Auswertungsverfahrens, mit dem CMs ausgewertet werden, führt nach Liu & Hinchey (1996) zu einer geringen prognostischen Validität.
- *Sensitivität*: Der Einsatz ist für einen bestimmten Erhebungszeitpunkt wie auch für mehrere Zeitpunkte, z.B. bei einem Prätest-Posttest-Vergleich, üblich. In vielen Interventionen hat sich die Änderungssensitivität als Folge von Instruktionsmaßnahmen (Instruktionssensitivität) laut Ruiz-Primo & Shavelson (1996) herausgestellt: Concept Maps, die nach einer Intervention konstruiert wurden, zeigten gegenüber denen vor der Intervention einen größeren Umfang, eine stärke innere Verknüpfung, einen höheren Detailgrad, in sich konsistentere Strukturen (größere innere Kohärenz) und enthielten eine größere Anzahl an richtigen/gültigen Propositionen, die auf ein größeres Verständnis hindeuteten (Wallace & Mintzes 1990; Liu & Hinchey 1996; Eckert 1998; McClure et al. 1999; Osmundson et al. 1999; Stracke 2004; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Yin et al. 2005; Sommer & Lücken 2010). Concept Maps sind ebenfalls, zumindest zu einem gewissen Ausmaß, sensitiv für interindividuelle Differenzen in kognitiven Strukturen, z.B. zwischen Expert/ innen und Noviz/innen (Liu & Hinchey 1996; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Williams 1998; Cañas et al. 2003; Ruiz-Primo 2004; Shavelson & Ruiz-Primo 2005).

b.) Die Reliabilität kann nach McClure et al. (1999) beeinflusst werden durch Kenntnisse in der Anwendung der gewählten Auswertungsmethode sowie durch verschiedene Wissensstände bei den Ratern. Einen größeren Einfluss hat den Autoren zufolge das Schema, nach dem konkret ausgewertet wird. Cañas et al. (2003) fügen die Art der Aufgabenstellung als Einflussfaktor hinzu. Als Gütekriterien werden nachfolgend die Test-Retest-Reliabilität, die Interrater Reliabilität und das Interrater Agreement sowie die interne Konsistenz in den Blick genommen:

- *Test-Retest-Reliabilität*: Bisherige Studien deuten nach Stracke (2004) darauf hin, „*dass sich Wissensveränderungen von einzelnen Personen sehr gut über Concept Maps (Vortest – Nachtest) dokumentieren lassen*“ (ebd., S. 128). Als reaktives Verfahren ist Concept Mapping kritisch zu betrachten, da Relationen möglicherweise (ausschließlich) aufgrund von Lernprozessen infolge der tieferen Beschäftigung mit den zu repräsentierenden Strukturen (Kapitel 2.3.2.3) konstruiert werden und u.U. zuvor in dieser Form so nicht bewusst gewesen sind (Novak & Gowin 1984; Eckert 1998). Cañas et al. (2003) weisen aufgrund der natürlichen Dynamik des menschlichen Wissens darauf hin, dass sich Reliabilitätsuntersuchungen vielmehr auf die Bestimmung der Interrater Reliabilität und internen Konsistenz konzentrieren sollten.
- *Interrater Agreement* bzw. *Interrater Reliabilität*: Bei qualitativen Verfahren wird eine möglichst hohe absolute (Interrater Agreement) bzw. relative (Interrater Reliabilität) Übereinstimmung in den Auswertungsergebnissen von zwei oder mehr Ratern als ein Gütekriterium für die Zuverlässigkeit/Genauigkeit der Bewertung verstanden (Ruiz-Primo et al. 2001a; Stracke 2004). Dass CMs reliabel auf der propositionalen Ebene durch mehrere Rater ausgewertet werden können, haben u.a. die Studien von Ruiz-Primo et al. (1997b), Rice et al. (1998), Herl et al. (1999), Ruiz-Primo et al. (2001a), Rye & Rubba (2002), Ruiz-Primo (2004), Shavelson & Ruiz-Primo (2005) und Yin et al. (2005) gezeigt. Laut Shavelson & Ruiz-Primo (2005) fällt die Übereinstimmung im Falle der Konstruktion eigener Konzepte etwas geringer aus. Bezüglich der computerbasierten quanti-

tativen Auswertung kann nach Stracke (2004) davon ausgegangen werden, „*dass der Computer in einem automatisierten Prozess zuverlässig einzelne Strukturparameter der Concept Maps berechnet bzw. Vergleiche mit einer Referenz vornimmt*“ (ebd., S. 128).

- *Interne Konsistenz*: Dieses Kriterium bezieht sich auf das Auswertungsschema selbst, mittels dessen eine Bewertung der inhaltlichen Qualität/Genauigkeit vorgenommen wird. Im Rahmen einer Vergleichsstudie, bei der verschiedene qualitative Schemata miteinander verglichen wurden, sind McClure et al. (1999) zu dem Schluss gekommen, dass bei der Vorgabe von Konzepten die Auswertung auf der propositionalen Ebene in Kombination mit dem Abgleich mit einem Referenznetz die höchste Reliabilität aufweist. Dies hängt mit der geringeren kognitiven Belastung der Rater bei der Bewertung einzelner Propositionen im Vergleich zu größeren CM-Strukturen zusammen. Einen Einflussfaktor stellt dabei die Vertrautheit der Rater mit dem Auswertungsschema dar. Ruiz-Primo et al. (1997b) fanden im Zuge einer Vergleichsstudie heraus, dass verschiedene qualitative Auswertungskoeffizienten auf propositionaler Basis durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können.

c.) Die automatisierte Auswertung am Computer wird grundsätzlich mit einer großen Auswertungsobjektivität gleichgesetzt. Eckert (1998) hat diese Annahme bei der Untersuchung einer CM-Software bestätigt. Wie sich dabei gezeigt hat, wirkt die Reaktivität des Programms nur geringfügig auf den Lernprozess und die Ergebnisse ein, da von den Teilnehmer/innen der Experimentalgruppe Organisationsstrategien intensiver eingesetzt wurden. Ein wichtiges Ergebnis ist in diesem Zusammenhang die Erkenntnis gewesen, dass die Arbeit am Computer im Prätest keine Auswirkungen auf die Ergebnisse im Posttest hatte (Eckert 1998). Bei qualitativen Auswertungsansätzen wird eine höhere Auswertungsobjektivität im Rahmen der o.g. Interrater Reliabilität bzw. des o.g. Interrater Agreements zu erreichen versucht.

2.3.2.3 Einsatz als graphisches Lernwerkzeug

Concept Maps bieten vielfältige Möglichkeiten zur Unterstützung von Lehr-Lern-Prozessen (Klein et al. 2002). Als Instruktionsmittel können sie zentrale Konzepte/Relationen in einem Wissensbereich verdeutlichen. Als graphic organizer (Hawk 1986; Ausubel 2000; Nesbit & Adesope 2006; Fürstenau 2011) bieten sie eine „*organisierend wirkende Reduktion neuer Informationen mit Zusammenfassung und Gruppierung zu größeren Sinneinheiten*“ (Hasselhorn & Gold 2006: 92), die vorteilhaft für einen (ersten) Überblick sein kann. Zu Beginn von Lehr-Lern-Prozessen eignen sich CMs für das Sammeln von Wissensinhalten und Ideen (Cañas et al. 2003), wobei Fürstenau (2011) auf die Notwendigkeit eines höheren Allgemeinheitsgrades hinweist, um Möglichkeiten für die Integration neuer (Detail-)Aspekte offenzulassen. Werden CMs dem Lernprozess als advance organizer vorangestellt, können sie als Organisations-/Strukturierungswerkzeug eine Brückenfunktion zwischen dem vorhandenen Wissen und der im Lernprozess zu erarbeitenden Information übernehmen (Jonassen et al. 1997; Ausubel 2000; Hasselhorn & Gold 2006; Fürstenau 2011): Bereits enthaltene Konzepte können dabei nicht nur als Hinweise bzw. Stichwörter wirken (Hawk 1986), sondern auch als unmittelbare Anknüpfungspunkte für die Assimilation der neuen Information dienen, sodass die Integration in ein logisches Gesamtkonzept und die Konstruktion einer sinnstiftenden Gesamtstruktur gefördert wird (Hawk 1986; Ausubel 2000; Jonassen et al. 1997). Durch bereits vorhandene Inhalte und Strukturen können selbstgesteuerte Kognitionsprozesse (Hippchen 1995), z.B. bei der Encodierung (Brand & Markowitsch 2009: 71ff.) erleichtert und individuelle Fehlvorstellungen bei einem visuell erleichterten Abgleich (selbst) identifiziert werden (Jonassen et al. 1997). Für eine adäquate Integration bedarf es der tieferen Elabo-

ration der bestehenden Strukturen[30] bzw. des betreffenden Wissensbereichs (Fürstenau 2011), an die sich die mentale Organisation der neuen Information und ihre Einordnung in bzw. Zuordnung zu den bestehenden kognitiven Strukturen anschließt (Klein et al. 2002; vgl. Kapitel 2.3.1). Hierbei ist auch die Struktur/Organisation des gesamten Wissensnetzes zu berücksichtigen (Jonassen et al. 1997; Ausubel 2000; Hardy & Stadelhofer 2006; Nesbit & Adesope 2006; Daley et al. 2010; Fürstenau 2011).

Eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Inhalten und Strukturen einer CM kann über eine gezielte Aufmerksamkeitslenkung erfolgen, bei der die Wahrnehmung von essenziellen Strukturen fokussiert wird (Pea 2004; Hardy & Stadelhofer 2006). Aufbauend auf Jüngst & Strittmatter (1995) weisen Hardy & Stadelhofer (2006) darauf hin, dass die aufmerksamkeitslenkende Wirkung an die Vertrautheit im Umgang mit einer CM gebunden ist und bei mangelnden Kenntnissen zu einer Überforderung bei der Konstruktion, v.a. bei offeneren Varianten, führen kann. Durch den Einsatz geschlossenerer Varianten wie lückenhafte CMs oder Expertenmaps wird die Aufmerksamkeit aufgrund der Vorstrukturierung stärker auf die zu lernenden Inhalte gerichtet, wobei es im Falle der Expertenmaps ggf. zu einer (ausschließlichen) Fokussierung auf die vorgegebenen Begriffe und zu einer Vernachlässigung der Relationen kommen kann (Mandl & Fischer 2000; Hardy & Stadelhofer 2006; Novak & Cañas 2008). Nach Novak (1990) ist der Einsatz vorgegebener CMs ebenso an die grundsätzliche Vertrautheit mit der Methode als solche gebunden.

2.3.3 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen des Concept Mapping werden kognitive Strukturen in einer gedächtnisanalogen Knoten-Relation-Struktur graphisch-verbal repräsentiert. Die besondere Stärke der Methode liegt darin, dass neben der Externalisation der inhaltbezogenen Wissenskomponente ebenso die der strukturbezogenen möglich ist (vgl. Kapitel 2.3.1): Einzelne Konzepte werden über Relationen zu Propositionen als kleinste Sinneinheiten miteinander verknüpft, die ihrerseits einen Einblick in das Tiefenverständnis geben. Inwiefern Systemwissen im Rahmen der verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE per Concept Mapping erfasst werden kann, wird in Kapitel 3.2 herausgearbeitet.

Die geringe verbale Auslastung von CMs erzeugt eine vergleichsweise geringere kognitive Belastung und kommt v.a. Individuen mit weniger gut ausgebildeten Sprachfähigkeiten entgegen. Dennoch kann die Konstruktion möglichst genauer/präziser Propositionen mit hohen kognitiven Anforderungen verbunden sein. Die adäquate Repräsentation ist zudem an die grundlegende Vertrautheit mit der Methode gebunden. Eine hierarchische Struktur, die zusätzliche Anforderungen stellt, ist neueren Ansichten zufolge nicht zwangsweise notwendig und weicht zunehmend netzwerkartigen Repräsentationen (vgl. Kapitel 2.3.2).

Einen wesentlichen Einfluss auf das Concept Mapping übt die Aufgabenstellung aus, die sich zudem auf die Auswahl eines geeigneten Auswertungsverfahrens auswirkt. Während offenere bzw. geschlossenere Varianten jeweils spezifische Vor- und Nachteile besitzen, sind es schlussendlich die offeneren Varianten ohne oder mit nur geringen Parametervorgaben, die mit einer größeren Aussagekraft bezüglich der inhalts-/strukturbezogenen Wissenskomponente in Verbindung gebracht werden. Im Bereich des Antwortmodus wird die computerbasierte Konstruktion als vorteilhafter gesehen, da mit ihr flexiblere Repräsentations- und einfachere Modifikationsmöglichkeiten als bei der klassischen Papier-und-

[30] Als graphisches Werkzeug sollen CMs die Konstruktion bedeutungsvoller Sinnzusammenhänge und die Entwicklung eines tieferen Verständnisses des repräsentierten Wissens fördern. Dieser Prozess wirkt sich wiederum auf die Aneignung und Integration von neuen Informationen aus (Novak & Gowin 1984; Novak 1990; vgl. Kapitel 2.3.1). Hierbei kommt der Selbstkonstruktion eine zentrale Bedeutung zu (Hardy & Stadelhofer 2006).

Bleistift-Methode einhergehen. Wie dargestellt, bezeichnet Eckert (1998) die digitale Konstruktion als Vorgehensweise für eine bessere bzw. genauere Wissensrepräsentationen (vgl. Kapitel 2.3.2.1).

Concept Maps können quantitativ und/oder qualitativ ausgewertet werden. Bei beiden Richtungen kommen Korrespondenzanalysen, i.d.R. unter Abgleich mit einem unabhängigen Referenznetz (Expertenmap) zum Einsatz. Bei quantitativen Ansätzen werden Korrespondenzkoeffizienten gebildet, deren Aussagekraft, insbesondere im Hinblick auf interindividuelle Differenzieren, infrage gestellt wird. Eine auf der Basis von Propositionen durchgeführte qualitative Auswertung sieht sich demgegenüber mit der Frage konfrontiert, inwiefern sich individuelle Wissensrepräsentationen allgemein als richtig oder falsch bewerten lassen und wie mit falschen/ungültigen Propositionen umzugehen ist. Die qualitative Auswertung wird häufig durch mehrere Rater vorgenommen, deren Ergebnisse auf Interrater Reliabilität bzw. Interrater Agreement miteinander verglichen werden. Insgesamt lässt sich die Methode Concept Mapping, wenn auch unter Einschränkungen (Verfahrensreaktivität), als eine zufriedenstellend valide, reliable und objektive Technik für die Diagnose von situations-/kontextbedingt repräsentierten kognitiven Strukturen verstehen. Diese Erkenntnis gilt in besonderem Maße für die Konstruktion und automatisierte Auswertung am Computer sowie in Bezug auf die Verwendung einer Expertenmap als Vergleichsgrundlage. In Bezug auf die qualitative Auswertung wird mit Blick auf die interne Konsistenz, die Interrater Reliabilität bzw. das Interrater Agreement sowie die Prognostische Validität die besondere Bedeutung des gewählten Auswertungsschemas betont, bei dem eine Auswertung auf propositionaler Basis zu einer höheren Reliabilität führt (vgl. Kapitel 2.3.2.2).

Über ihren Einsatz für die Wissensdiagnose hinaus finden CMs Verwendung als Lernwerkzeug. Neben ihrer Wirkung als graphic organizer ist beim Einsatz als advance organizer ihre Brückenfunktion hervorzuheben, die bei einer vertieften Auseinandersetzung mit den bereits repräsentierten Strukturen eine geordnete Integration bzw. Assimilation von neuen Informationen fördert (vgl. Kapitel 2.3.2.3).

2.4 Luft- und Satellitenbilder bzw. topographische Karten

> *„Die Fernerkundung wird unter anderem auch als Verfahren bezeichnet, das die menschliche Wahrnehmung der Welt über das natürliche Mass hinaus erweitert* […]. *Erst durch die Erkundung des Weltraums ist die Erde in den Kreis der sichtbaren Dinge gerückt. Das Bild der Erde als blauer Planet hat in den vergangenen Jahrzehnten ein neues Bewusstsein ihrer Endlichkeit und Verletzbarkeit, kurz ein neues Weltbild geschaffen"*
> (Reuschenbach 2007: 51)

Der von der Autorin angesprochene Beitrag der Fernerkundung zur generellen Bewusstwerdung über die Notwendigkeit zum Schutz und Erhalt der natürlichen Existenzgrundlagen verdeutlicht den Stellenwert für die BNE und den nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht, der in Kapitel 2.4.1 vorgestellt und um eine Betrachtung des bisherigen Einsatzes der Fernerkundungsprodukte Luft- und Satellitenbild im Geographieunterricht ergänzt wird. Im Anschluss daran werden Luft- und Satellitenbilder hinsichtlich ihres Wesens und ihrer Eigenschaften näher betrachtet, gefolgt von einer sich daran anschließenden Darstellung der fernerkundungsdidaktischen Erkenntnisse über die kognitive Aneignung der in ihnen enthaltenen Rauminformationen bei der visuellen Auswertung (Kapitel 2.4.2). In gleicher Weise stehen in Kapitel 2.4.3 topographische Karten im Mittelpunkt, deren Wesen und Eigenschaften ebenso dargestellt werden wie die kartendidaktischen Erkenntnisse über die kognitive Aneignung von Rauminformationen bei der visuellen Kartenauswertung. Um im weiteren Verlauf dieser Arbeit potenzielle Gemeinsamkeiten/Unterschiede zwischen Luft- und Satellitenbildern auf der einen Seite und topographischen Karten auf der anderen Seite identifizieren zu können, schließt sich in Kapitel 2.4.4 eine Betrachtung der bildwissenschaftlichen/kognitionspsychologischen Erkenntnisse über die kognitive Verarbeitung der in verschiedenen Kategorien von Bildern enthaltenen Informationen an. Den Abschluss des Kapitels bilden Zusammenfassung und Fazit (Kapitel 2.4.5).

2.4.1 Einsatz in der BNE und im Geographieunterricht

Als spezifischer Beitrag der Geographie zu den digitalen Medien[31] bieten Fernerkundungsprodukte wie Luft- und Satellitenbilder nach Siegmund et al. (2014: 16ff.) eine neue Perspektive auf das System Erde, die in Raum und Zeit mitunter weit über das Hier und Jetzt hinausgehen kann:

> *„Simulationen des globalen Meeresspiegelanstiegs bis zum Jahr 2050 oder Satellitenbilder, auf denen die Abholzung riesiger Waldgebiete zu sehen ist, führen auf eine anschauliche und eindrückliche Art und Weise nicht nur Umweltzerstörungen und andere nicht nachhaltige Entwicklungen vor Augen, sondern sind auch für die Beantwortung zukunftsorientierter Fragestellungen von großer Bedeutung* […].

[31] Als digitale Medien gelten allgemein Computer, Internet und mobile Endgeräte (Mobiltelefone, Tablet-PCs etc.), mittels denen Kommunikation/Informationsübermittlung möglich ist und eine situativ, sozial gebundene, selbstgesteuerte und aktive Wissenskonstruktion gefördert werden kann (Weidenmann 2002: 46, 2006: 425; Ringel 2012: 175). Aktuelle Studien (vgl. u.a. MPFS 2013, 2014) verdeutlichen ihre weite Verbreitung unter den Heranwachsenden und untermauern die These vom angebrochenen Digitalen Zeitalter (Ditter et al. 2012: 214ff.; Ditter 2013).

> *Entwicklungen, die über längere Zeiträume verlaufen, sowie übergeordnete Zusammenhänge, die beide im Augenblick der Anwesenheit vor Ort nicht sofort ersichtlich sind, können mithilfe von digitalen Medien veranschaulicht und verständlich gemacht werden*" (ebd., S. 21)

Bei einer Verschränkung mit traditionellen Lehr-Lern-Praktiken werden die Einbindung neuer Technologien und daraus hervorgehende neue, innovative Wege des Lehrens und Lernens als eine potenzielle mediale/methodische Bereicherung[32] für die Auseinandersetzung mit nachhaltigkeitsrelevanten Lerninhalten gesehen (BLK 1998, 2005; Barth 2006: 78f., 2007, 2008: 202ff.; Programm Transfer-21 2007; Künzli & Bertschy 2008; Hauenschild & Bolscho 2009; Consentius & de Haan 2011; Tilbury 2011; Wals 2012; Siegmund et al. 2014: 16ff.); dies gilt v.a. bei der Kombination mit leiblich-sinnlichen Erfahrungen (Zacharias 2012). Der Einsatz von digitalen Medien in der Bildung gilt inzwischen allgemein als ein *„fundamentale*[r] *Aspekt jeder Bildungssituation, deren Blick auf die realen gesellschaftlichen, die sozialen, ökonomischen und kulturellen Entwicklungen und deren Auswirkung auf den Einzelnen nicht realitätsblind sein will."* (Maier 1998: 29)[33]. Als „*Werkzeuge zum Entdecken, Erkunden und Erklären der Welt*" (Molitor 2014: 30) können sie u.a. dazu beitragen, „*die Aufarbeitung eines Sachverhaltes nicht als monokausales, lineares Ereignis wahrzunehmen, sondern als komplexes, vielschichtiges und fachübergreifendes Phänomen zu begreifen*" (Barth 2006: 69). Durch die Möglichkeiten der digitalen „*Darstellung bzw. Modellierung von dynamischen Sachverhalten in Form von Animationen und Simulationen*" (Siegmund et al. 2014: 18) kann u.a. das „*Verständnis von komplexen Handlungsmustern sowie Raum-Zeit-Mustern und -Veränderungen*" (ebd., S. 18) gefördert und die Auseinandersetzung mit komplexen Lerninhalten vereinfacht (Zacharias 2012) werden.

Hinsichtlich der Auseinandersetzung mit Raum und Zeit kommt im Geographieunterricht eine Vielzahl von Medien zum Einsatz, die die kognitive Aneignung von Wissen über die Wirklichkeit ermöglichen (Brucker 2006a: 174; Rinschede 2007; Ringel 2012: 175.; Wüthrich 2013). Hierzu gehört, wie in Kapitel 2.1.3.2 angedeutet, u.a. die „*Wahrnehmung und Vorstellung von räumlichen Strukturen*" (Bollmann 1992: 349). In Verbindung mit der Raumorientierung, die zur räumlichen Orientierung im Realraum wie auch auf Informationsträgern wie Karten oder Luft- und Satellitenbildern befähigt, trägt die Wahrnehmung von räumlichen Strukturen, Funktionen und Prozessen zum Aufbau bzw. zur Erweiterung einer mentalen Vorstellung über das Aussehen und die Gegebenheiten in einem Erdraum bei (Adamina & Wyssen 2005; Reuschenbach 2007; DGfG 2012; Ringel 2012: 175). Die Entwicklung der mentalen Raumvorstellung erfordert räumliche Intelligenz bzw. räumliches Denken (Lewalter 1997; Ishikawa & Kastens 2005; Viehrig et al. 2011: 49ff.; Viehrig et al. 2012: 99f.), deren/dessen Ausprägung u.a. alters-, geschlechts-, vorwissens-/vorerfahrungs- bzw. interessenabhängig ist (Adamina & Wyssen 2005; Ishikawa & Kastens 2005). Vorstellungen über einen Erdraum lassen sich als mentale Landkarte oder kognitive Karte (Seger 2001: 402; DGfG 2012) bzw. als map images (Kulhavy et al. 1993; Kulhavy & Stock 1996) im Sinne mentaler Bilder (Wastl 2000) verstehen. Mental repräsentiert ist ein kognitives Netz der geographischen Gegebenheiten im Erdraum: geometrisch-topologische Informationen über Lagen/Positionen, Distanzen oder räumliche Beziehungen sowie semantische Informationen über

[32] Eine Darstellung allgemeiner Potenziale finden sich u.a. in Barth (2006: 69), Weidenmann (2006: 462ff.), Hieber et al. (2009), Ditter et al. (2012: 215) und Zacharias (2012).

[33] Allgemeines Bildungsziel ist dabei der Aufbau einer adäquaten Kompetenz zum Umgang mit digitalen Medien (Maier 1998; OECD 2002; BMBF 2010). Trotz der bisweilen kritischen Hinterfragung ihres Mehrwerts (vgl. hierzu u.a. in Fuchs & Wößmann 2011) wird ihr Einsatz in der formellen Bildung innerhalb seiner Möglichkeiten und Grenzen als lernförderlich betrachtet, v.a. dann, wenn er in ein mediendidaktisches Gesamtkonzept eingebettet ist (Kerres 2001, 2003: 31ff.; Weidenmann 2006: 462ff.; Barth 2007, 2008: 199ff.; Haubrich et al. 2007; Ditter et al. 2012: 230f.; Molitor 2014: 26ff.; Siegmund et al. 2014: 18ff.).

Inhalte/Bedeutungen und Relationen (Bollmann 1992: 350; Hüttermann 2012b: 25ff.; Kaminske 2012). Nach Montello (1998) lassen sich Raumvorstellungen bzw. kognitive Karten mit dem auch semantische Informationsanteile beinhaltenden räumlichen Wissen gleichsetzen (vgl. Domnick 2004). Sie stellen „*wertbesetzte, subjektive Konstruktionen von Wirklichkeiten*" (Reuschenbach 2007: 76f.) dar, die Informationen über „*Elemente und Merkmale der natürlichen, gebauten und sozialen Umwelt*" (ebd., S. 76f.) enthalten und als Folge von Selektions-/Strukturierungsprozessen „*schematisiert, verzerrt und* […] *nur unvollständig*" (Kaminske 2012: 77) sind (vgl. Adamina & Wyssen 2005). Kognitive Karten lassen sich infolgedessen vielmehr als Relativräume verstehen, die i.d.R. interindividuell sowie inhaltlich verschieden ausgeprägt sein[34] können (Claaßen 1997a; Kaminske 2012):

- *Straßen*- bzw. *Routenkarten*: Auf primären Raumerfahrungen aufbauendes Raumwissen, das bei der Eigenbewegung durch den Erdraum routen-/pfadartig angeeignet wird und sehr stark durch die eigene Wahrnehmungsperspektive und subjektive Wahrnehmungsgewohnheiten geprägt ist, führt zum Aufbau dieser Art von kognitiven Karten, die Knotenpunkt- wie Streckenwissen enthalten (Engelkamp 1991; Kulhavy & Stock 1996; Wastl 2000; Domnick 2004; Anderson 2007; Reuschenbach 2007; Hüttermann 2012b: 28; Kaminske 2012).
- *Überblicks*- bzw. *Übersichtskarten*: Das Lesen und Auswerten von Informationsträgern wie z.B. Karten (Engelkamp 1991; Kulhavy & Stock 1996; Clark et al. 2008) oder Luft- und Satellitenbildern (Reuschenbach 2007) führt allgemein zum Aufbau dieser Art mit vorwiegend geometrisch-topologischen Informationen im Sinne von Überblicks-/Übersichtswissen (Engelkamp 1991; Wastl 2000; Seger 2001: 402; Domnick 2004; Anderson 2007; Reuschenbach 2007; Kaminske 2012).

Die individuelle Ausprägung der jeweiligen Art wird durch zahlreiche biologische sowie umwelt- und sozialisationsbedingte Variablen bzw. durch ästhetische Aspekte beeinflusst. Vor dem Hintergrund verschiedener Raummaßstäbe liegt kognitiven Karten zudem eine hierarchische Struktur (Stadt, Region, Land, Welt) zugrunde (Engelkamp 1991; Anderson 2007; Kaminske 2012).

Raumvorstellungen bzw. kognitive Karten sind ein anvisiertes Ziel und ein resultierendes Produkt der Erschließung von Erdräumen im Geographieunterricht. Traditionell kommen zu diesem Zweck Karten als spezifisches Medium des Faches zum Einsatz. Die auch in Alltagszusammenhängen relevante Befähigung zum Umgang mit ihnen, die u.a. topographische Karten (u.a. als Grundlage für Wanderkarten) mit einschließt, wird als eine bedeutende gesellschaftliche Kulturtechnik verstanden, die es unterrichtlich zu fördern gilt (Wallert 1993; Claaßen 1997a, 1997b; Schmaucks 1998; Lenz 2006a: 196; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007; Herzig et al. 2007; Hieber & Lenz 2007; Rinschede 2007; Hemmer et al. 2008; Lenz 2009; Hemmer et al. 2010; DGfG 2012; Hüttermann 2012b: 22). Seit mehreren Jahrzehnten erweitern Luftbilder, und in neuerer Zeit vermehrt auch Satellitenbilder, die Mediensammlung der Geographie. Luft- und v.a. Satellitenbilder gewinnen in der Geographiedidaktik zunehmend an Bedeutung, wie zahlreiche Untersuchungen (Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007; Siegmund 2011; Kollar 2012; Ditter 2013) und Publikationen zu unterrichtlichen Einsatzbeispielen (Reuschenbach 2005; Jahn et al. 2010; Ditter & Hupke 2012; Jahn et al. 2012: 281ff.; Haspel & Jahn 2014: 59ff.) bzw. wie Onlineangebote wie *FIS – Fernerkundung in Schulen*, *Satellite Image*

[34] Nach Kulhavy & Stock (1996) wirkt die Instruktionsart, die das kognitive Kartieren anregen soll, zu einem erheblichen Maße auf deren Entwicklung ein, mitunter in einem solchen Maße, dass die Art der kognitiven Karte bestimmt wird. Nach Kulhavy et al. (1993) bzw. Kulhavy & Stock (1996) wird ihr Inhalt und dessen Ausmaß durch die Zielsetzung und Interpretation der Aufbausituation geprägt. Für Adamina & Wyssen (2005) haben subjektive Wahrnehmungen und Erfahrungen einen Einfluss. Kaminske (2012) nennt ferner das Ausmaß des Kartenwissens, Wahrnehmungsaspekte, begrenzte kognitive Kapazitäten, individuelle Interessen sowie Bewertungen und Bedeutungszuweisungen. Des Weiteren spielen dem Autor zufolge Vorstellungsbilder, z.B. in Bezug auf aktuelle reale Ereignisse, eine Rolle.

Learning Center, *Science Education through Earth Observation for High Schools*, *GLOKAL Change* oder *BliF – Blickpunkt Fernerkundung* verdeutlichen. Diese Entwicklung geht einher mit allgemeinen gesellschaftlichen Tendenzen, Luft- und Satellitenbilder verstärkt in unterschiedlichsten Kontexten einzusetzen: In der jüngeren Vergangenheit ist über die Berufswelt hinaus eine zunehmend öffentlichkeitswirksame mediale Präsenz zu erkennen, die vom Wetterbericht über die Lokalisierung weltpolitischer Ereignisse und sportlicher Großveranstaltungen bis hin zu TV-Dokumentationen reicht. Unter anderem eingebettet in frei zugängliche Angebote wie Google Maps oder Google Earth führt ihr wachsender Einsatz in der breiteren Öffentlichkeit dazu, dass sie auch bei Lernenden (un-)bewusst einen immer größeren Stellenwert einnehmen und ein gewisses Halb-/Vorwissen hervorrufen (Reuschenbach 2007; Siegmund 2011; Kollar 2012; Ditter et al. 2012: 219ff.; Ditter 2013; Wüthrich 2013). Ihre zunehmende Bedeutung im Alltag und in der Freizeit von Lernenden beruht auf einem entsprechenden Interesse (Kollar 2012; Ditter et al. 2012: 220; Ditter 2013): In der Untersuchung von Siegmund (2011) wurden Satellitenbilder nationenübergreifend motivierender eingeschätzt als Karten. Werden bei den Befragungen von Hemmer & Hemmer (2010: 91ff.) im Jahr 1995 und 2005 Luft- und Satellitenbilder der von den 1.600 befragten Schüler/innen präferierten *Arbeit mit Fotos*/*Bildern* zugeordnet, zeigt sich auch hier das vergleichsweise größere Interesse gegenüber der Arbeit mit Karten. Auch Schweizer Lehrkräfte haben in der Untersuchung von Reuschenbach (2007) die motivierende Wirkung der Satellitenbildauswertung auf ihre Schüler/innen betont. Luft- und v.a. Satellitenbildern wird im Hinblick auf eine zeitgemäße, zukunftsgerichtete Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen im Geographieunterricht ein mitunter großes Potenzial zugeschrieben und es verstärkt sich das Plädoyer für ihren (stärkeren) Einsatz, der in allen Phasen des Unterrichtsgeschehens erfolgen kann (Bär 1977; Beckel & Winter 1989; Seger 2001: 406ff.; Alean & Biber 2005; Gerber & Reuschenbach 2005; Neumann-Mayer 2005; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 178f.; Reuschenbach 2007, 2009; Rinschede 2007; Siegmund 2011; Ditter et al. 2012: 219ff.; Hassenpflug 2012; Kaminske 2012; Kollar 2012; Ringel 2012: 179; Ditter 2013). Von Wüthrich (2013) wird ihre unterrichtliche Relevanz (bereits) mit der des Mediums Karte gleichgesetzt:

> „*Die Grundlagen, wie solche Bilder entstehen, und die Kompetenz, Luft- und Satellitenbilder zu verwenden sowie daraus die richtigen Schlüsse zu ziehen, sind heute mindestens auf der Stufe des Gymnasiums ebenso hoch einzuschätzen wie das Lesen einer topographischen Karte und das Wissen um deren Entstehung.*“ (Wüthrich 2013: 162)

Ein Blick in bildungspolitische Vorgaben und Gestaltungshilfen für die Unterrichtspraxis zeigt, dass Luft- und Satellitenbilder jedoch noch nicht den vom Autor angesprochenen unterrichtlichen Stellenwert in dem Maße erreicht haben: Im Zuge ihrer Analyse der föderalen Bildungspläne hat Siegmund (2011) keine durchgehende Verankerung der Fernerkundung als unterrichtlich behandeltes Thema bzw. den Einsatz ihrer Produkte (Luft- und Satellitenbilder) als Informationsquelle festgestellt. Hassenpflug (2012: 258), Kollar (2012) und Ditter (2013) verweisen ebenso auf die Unterrepräsentanz auf unterrichtspraktischer Ebene. Empirisch bestätigt wird dies in der Studie von Siegmund (2011), in der nur etwas mehr als die Hälfte der 830 aus Deutschland teilnehmenden Schüler/innen bereits zuvor mit Satellitenbildern im Unterricht gearbeitet haben. In der Untersuchung von Kollar (2012) sind es 60% der 750 baden-württembergischen Schüler/innen gewesen, die zudem nur einen sporadischen bis seltenen Unterrichtseinsatz angaben. Beide Studien haben ferner gezeigt, dass die analoge Präsentationsform (Overheadfolie, Schulbuch etc.) der digitalen Variante oftmals vorgezogen wird. Von der bisherigen Verwendung als reines Anschauungsmaterial (Gerber & Reuschenbach 2005; Reuschenbach 2007; Wüthrich 2013) oder als illustrative Beigabe in Text-Bild-Kombinationen, wie dies auf verschiedenste Bilder i.d.R. zutrifft (vgl. Hieber & Lenz 2007; Reuschenbach 2007; Jahnke 2011: 82), ist laut Siegmund (2011) in Geographieschulbüchern durchaus eine zunehmende Orientierung hin zu einer

Auseinandersetzung mit den in Luft- und v.a. Satellitenbildern visualisierten Rauminformationen zu verzeichnen[35] (vgl. für die Schweiz in Reuschenbach 2007). Allerdings stellt die Autorin gleichzeitig einschränkend fest, dass bundeslandübergreifend in Schulbüchern noch keine intensive, detaillierte Bildauswertung angeregt wird[36], weshalb *„die Komplexität, die Möglichkeiten und die Aufgabenvielfalt, die ein Satellitenbild bietet*" (ebd., S. 24) auch im Hinblick auf nachhaltigkeitsrelevante Themen und Fragestellungen bietet, bisher i.d.R. nicht in ihrem vollen Potenzial unterrichtlich ausgeschöpft werden. Dies gilt für die Bildarbeit im Geographieunterricht allgemein (Hieber & Lenz 2007; Reuschenbach 2007; Hemmer & Hemmer 2010: 91ff.; Jahnke 2011: 91; Kollar 2012). In der Vergangenheit sind jedoch bereits erste Beispiele in dieser Richtung vorgestellt worden, sich dabei auf die visuelle Auswertung am Computer (digitale Form) konzentriert haben (Jahn et al. 2012: 281ff.; Haspel & Jahn 2014: 63ff.).

2.4.2 Luft- und Satellitenbilder

Als Produkte der Fernerkundung gehen Luft- und Satellitenbilder aus einem spezifischen Entstehungsprozess hervor, der ihr Wesen und ihre Eigenschaften, einschließlich der in ihnen enthaltenen Rauminformationen, bestimmt. Kapitel 2.4.4.1 widmet sich diesen Charakteristika. Das sich anschließende Kapitel 2.4.4.2 geht auf die fernerkundungsdidaktischen Erkenntnisse über den kognitiven Prozess ihrer visuellen Auswertung ein und stellt in diesem Zusammenhang relevante Einflussvariablen vor.

2.4.2.1 Wesen und Eigenschaften

Luft- und Satellitenbilder besitzen als Momentaufnahmen einen realitätsabbildenden Charakter, der auf die eingesetzten Verfahren zur Messung von elektromagnetischer Strahlung bei analogen Luftbildkameras bzw. Digitalkameras und digitalen Sensoren (Scannern) an Bord von Erderkundungssatelliten sowie Weltraumfähren/-stationen zurückzuführen ist. In Abhängigkeit zur spezifischen Konfiguration und Sensitivität des Sensors werden verschiedene Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums detektiert (spektrales/radiometrisches Auflösungsvermögen), die mit dem Infrarot- und Mikrowellenbereich z.T. jenseits der Wahrnehmung des menschlichen Auges liegen und atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt sind. Mittels Multispektralscannern kann die spezifische Reflexionscharakteristik von Objekten wie ein spektraler Fingerabdruck erfasst werden. Die in mehreren Kanälen gebündelten Spektralinformationen werden in Bildpixeln dargestellt, die einen Geländeausschnitt mit einer bestimmten Fläche wiedergeben (räumliches/geometrisches Auflösungsvermögen). Jedem Bildpixel ist ein Strahlungswert zugeordnet, der umso mehr zu einem einzigen Wert verdichtet wird, je größer die aufgenommene Fläche ist (Scholz et al. 1983; Hildebrandt 1996; Claaßen 1997a; Seger 2001: 394ff.; Domnick 2004; Gerber & Reuschenbach 2005; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 178; McCloy 2006; Reuschenbach 2007; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kaminske 2012). Aus der Sicht von Reuschenbach (2007) entspricht dieser Zusammenhang einem Generalisierungseffekt, da mit abnehmender Größe der Raumauflösung (Bildmaßstab) die absolute Fülle der Spektralinformationen in nur wenigen Bildpixeln gebündelt und so auf einen Bruchteil ihres ursprünglichen Informationsgehalts reduziert wird.

Bei der Datenverarbeitung wird innerhalb der einzelnen Kanäle jedem Strahlungswert ein Grauwert zugewiesen, sodass sich die räumliche Variabilität der Spektralinformationen im Bild in der Verteilung verschiedener Grauwerte widerspiegelt. Grauwertunterschiede bewirken Helligkeitskontraste, die sich

[35] Mit dem *Satellitenbildatlas* (Westermann Verlag 2010) liegt erstmals ein für den Unterricht eingeführtes Werk vor, dass die thematische Vielfalt des Satellitenbildeinsatzes, in Kombination mit passenden thematischen Karten, aufzeigt.

[36] Eine Ausnahme hiervon ist die methodische Übung zur Luftbildinterpretation im Schulbuch *TERRA Erdkunde Oberstufe Räume und Strukturen* (Ernst Klett Verlag GmbH 2007b).

durch Farbcodierung noch stärker hervorheben lassen. Bei Multispektralbildern kann durch die Zuweisung der Farben Blau (B), Grün (G) und Rot (R) zu den Kanälen die Auswertbarkeit verbessert werden. Resultiert ein Bild mit alltagsüblichen Farben (RGB-Kombination), handelt es sich um ein Echtfarbenbild. Werden die Kanäle in einer anderen Reihenfolge kombiniert oder teilweise bzw. ganz durch Kanäle außerhalb des sichtbaren Lichts substituiert, entstehen Falschfarbenbilder (Hildebrandt 1996; Horning 2001; Seger 2001: 397f.; Siegmund & Menz 2005; McCloy 2006; Reuschenbach 2007; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kaminske 2012).

In Abhängigkeit zum räumlichen und spektralen Auflösungsvermögen ist die reale Informationsvielfalt eines Erdraums mehr oder weniger stark in seiner Fülle abgebildet (Beckel & Winter 1989; Hildebrandt 1996; Seger 2001: 394; Siegmund & Menz 2005; Reuschenbach 2007; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011). Durch den ggf. stärkeren visuellen Kontrast der Falschfarben können physische Objekte natürlicher Art wie Vegetation, Böden oder Gewässer bzw. anthropogenen Ursprungs wie Gebäude oder Infrastruktur optisch deutlicher von ihrer Umgebung abgegrenzt sein. Des Weiteren können Falschfarbenbilder Informationen über nicht sichtbare Aspekte wie die Oberflächentemperatur, die Bodenfeuchtigkeit oder den gesundheitlichen/jahreszeitlichen Zustand der Vegetation liefern (Siegmund & Menz 2005; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kollar 2012; Haspel & Jahn 2014: 65). Der Einsatz von Falschfarben ist mit besonderen Herausforderungen bei der visuellen Auswertung verbunden (Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007), auf die in Kapitel 2.4.2.1 näher eingegangen wird.

Bei einer hohen Raumauflösung ist alles Sichtbare in seinem augenblicklichen Zustand abgebildet. Durch die kausalen Zusammenhänge bei der Entstehung weisen Luft- und Satellitenbilder unmittelbare strukturelle Gemeinsamkeiten zum repräsentierten Erdraum und den darin vorkommenden Sachverhalten auf (Kapitel 2.4.4.1). Je nach Raumauflösung (Bildmaßstab) ist auch die visuelle Übereinstimmung gering bis sehr hoch (Scholz et al. 1983; Hildebrandt 1996; Claaßen 1997a; Seger 2001: 402; Gerber & Reuschenbach 2005; Siegmund & Menz 2005; Reuschenbach 2007, 2009; Albertz 2009; Kaminske 2012):

- *Hohe Raumauflösung* (*großer Bildmaßstab*): Bilder des Typs *IKONOS*, *QuickBird*, *RapidEye*, *Worldview*, *GeoEye* oder *ASTER* bilden im Meter- bis Dezimeterbereich klein(er)e Objekte in ihrem realen Aussehen und Detailreichtum ab, weshalb sie „*einen sehr realen Eindruck von den Strukturen auf der Erde*“ (Siegmund & Menz 2005: 4) vermitteln. Sie wirken wie ein natürliches Abbild (vgl. Siegmund & Menz 2005) und ermöglichen „*das Erkennen vertrauter Objekte aus der alltäglichen Erfahrungswelt trotz ungewohnter Perspektive*“ (Reuschenbach 2007: 56).
- *Geringe Raumauflösung* (*kleiner Bildmaßstab*): Bilder des Typs *Landsat*, *SPOT*, *MODIS* oder *IRS* bieten mit einer Raumauflösung von z.B. 30 × 30 m pro Bildpixel nur eine großflächige, überblickartige Zusammenschau. Es sind lediglich größere Raumeinheiten wie Waldgebiete, Siedlungen oder größere landwirtschaftlich genutzte Flächen als solche erkennbar. Der Fokus ihrer Verwendung liegt deshalb vielmehr auf der Erfassung von großräumigen Sachverhalten (Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 178; Reuschenbach 2007, 2009).

Luft- und Satellitenbilder geben dem Rezipienten bzw. der Rezipientin die Möglichkeit, den Erdraum und die in ihm vorkommenden Sachverhalte aus einer ungewohnten Perspektive von oben zu betrachten und dabei Erkenntnisse zu gewinnen, die aus der Horizontalsicht am Erdboden in dieser Form so nicht möglich sind (Scholz et al. 1983; Reuschenbach 2007). Insbesondere Satellitenbilder auf globaler Ebene geben erdräumliche Strukturen und Zusammenhänge auf eine anschauliche Art und Weise wieder (Beckel & Winter 1989; Brucker 2006b: 179; Gerber & Reuschenbach 2005; Siegmund & Menz

2005; Reuschenbach 2007). Dabei lassen sich anhand der Bildinhalte quantitative wie qualitative Aussagen über das Abgebildete treffen (Hildebrandt 1996; Gerber & Reuschenbach 2005; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kaminske 2012). Nach Scholz et al. (1983), Beckel & Winter (1989) sowie Alean & Biber (2005) ist es mit ihrer Hilfe möglich, im Rahmen eines gelenkten entdeckenden Lernens geographische Zusammenhänge selbstständig zu erkennen und zu erarbeiten. Weitere Erkenntnisse können durch den Vergleich von Bildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte gewonnen werden (Zeitreihen). Dies kann z.B. die Dynamik raumprägender Aktivitäten, Prozesse oder Entwicklungen sowie die daraus resultierenden Veränderungen und ihre Folgen betreffen (Bär 1977; Scholz et al. 1983; Beckel & Winter 1989; Hildebrandt 1996; Gerber & Reuschenbach 2005; Brucker 2006b: 178; Siegmund & Menz 2005; Reuschenbach 2007; Campbell & Wynne 2011; Hassenpflug 2012: 257; Jahn et al. 2012: 285ff.; Kaminske 2012; Haspel & Jahn 2014: 63). Nach Bär (1977) liefern Zeitreihen Anhaltspunkte über die Art, Richtung und Geschwindigkeit derartiger Vorgänge. Bezüglich der Analyse raumzeitlich hochdynamischer Prozesse ist eine hohe zeitliche Aktualität (temporales Auflösungsvermögen) relevant (Siegmund & Menz 2005; Wüthrich 2013). Bei einer Beobachtung mittels Landsat-Daten, die seit den 1980er Jahren durchgehend verfügbar sind, ist ein Einblick in langfristige Entwicklungen/Veränderungen über mehrere Dekaden möglich (Seger 2001: 405; Ustin et al. 2004: 680; Albertz 2009; Lillesand et al. 2008; Campbell & Wynne 2011).

Die realistische Darstellungsweise in Luft- und Satellitenbildern wird in verschiedenen Wissenschaften und Anwendungsfeldern u.a. für das Monitoring von Zuständen und Veränderungen genutzt (Seger 2001: 409; Ustin et al. 2004: 680; Siegmund & Menz 2005; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kaminske 2012). In diesem Zusammenhang gehen Paine & Kiser (2003) soweit, von „*one of the most powerful tools for environmental monitoring*“ (ebd., S. 378) zu sprechen, da sich mittels Luft- und Satellitenbildern u.a. ein „*reichhaltiges Wissen über den Zustand unserer Umwelt und die sich vollziehenden Veränderungen*“ (Albertz 2009: 227) gewinnen lässt (vgl. Reuschenbach 2007). Aus Sicht von Paine & Kiser (2003) leisten sie als Werkzeuge der Informationsgewinnung einen Beitrag zum Umweltmonitoring und zur Aufklärung der Öffentlichkeit über die Auswirkungen und Gefahren anthropogener Eingriffe in Natur und Umwelt (Ustin et al. 2004: 680), die in der Geographie im Kontext der Mensch-Umwelt-Beziehungen (vgl. Kapitel 2.1.3.2) analysiert werden (Geiger 1979 zit. in Hassenpflug 2012: 254). Ihre Bedeutung für die kontinuierliche Erfassung des Zustandes und der Veränderungen des Systems Erde ist bereits zu Beginn der 1990er Jahre politisch erkannt worden (Bundesministerium für Forschung und Technologie 1990, 1992). Über das Monitoring des aktuellen Zustands hinaus unterstützen sie nach Gerber & Reuschenbach (2005) zudem das „*Prognostizieren von Systemen, Zuständen und Prozessen in unserer natürlichen und gebauten Umwelt*“ (ebd., S. 5), d.h. sie ermöglichen eine in die Zukunft hinein reichende Vorstellung über die weitere Entwicklung. In Anbetracht dessen sind sie für Brucker (2006b) letztendlich ein „*Schlüssel zum Verständnis der Erde als geschlossenes ökologisches System, als ein lebendiger Organismus, in dessen Haushalt einzugreifen nicht ohne globale Folgen möglich ist*“ (ebd., S. 178). Die hieraus hervorgehende Bedeutung im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsthematik wird von Rao (1998) verdeutlicht, der den Beitrag zum Verständnis aktueller Gegebenheiten in verschiedenen Themenbereichen aufzeigt. Doering & Veletsianos (2007) wiederum gehen im Bildungskontext auf die Möglichkeit ein, einen Einblick in ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte von Erdräumen zu erhalten. Ein auf Satellitenbildern basierendes und für die BNE bedeutsames Bildungsangebot stellt *Environmental Change Hotspots*[37] des *United Nations Environment Programme* dar, bei dem weltweite Beispiele

[37] na.unep.net/atlas/google.php [zuletzt geprüft am 05.10.2018]

anthropogener Eingriffe in die natürlichen Systeme visualisiert werden und zu einer tieferen Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik vor dem Hintergrund der Vereinbarkeit mit dem Leitbild einer NE anregen. Weitere Einblicke in die Einsatzmöglichkeiten im Rahmen der Nachhaltigkeitsdimensionen geben Jahn et al. (2012: 285ff.) bzw. Haspel & Jahn (2014: 63ff.). Reuschenbach (2007) und Siegmund (2011) verweisen jeweils auf ein breites Spektrum an nachhaltigkeitsrelevanten Lerninhalten, darunter u.a. Rohstoffgewinnung, Flächenverbrauch und Umweltbeobachtung/-fragen.

2.4.2.2 Visuelle Auswertung

In den Bildungsstandards des Faches Geographie (DGfG 2012) ist die Auseinandersetzung mit Luft- und Satellitenbildern besonders im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*/*Methoden* verortet. Wie in Bezug auf die Arbeit mit Bildern im Allgemeinen, für die die Operatorenliste von Haubrich (2006: 177), die Ablaufschritte für einen erfolgreichen Lernprozess mit Bildern von Hieber & Lenz (2007) sowie das Kompetenzstufenmodell für eine geographische Bildlesekompetenz[38] von Jahnke (2011) vorliegt, besteht das Einsatzziel der unterrichtlichen Arbeit mit ihnen im Kennenlernen ihres Gehalts an Rauminformationen und deren zielgerichtete Auswahl, Entnahme und Auswertung unter bestimmten Fragestellungen. Im Weiteren geht es um die Strukturierung der Informationen, ihre Verknüpfung mit externen Informationen und ihre Überführung in andere Darstellungsformen. Im baden-württembergischen Bildungsplan für Geographie wird die Fähigkeit zur reflektierten Nutzung von Informationsquellen als Ausgangspunkt der Informationsgewinnung aufgeführt und bei den fachspezifischen Methodenkompetenzen explizit mit der Satellitenbildauswertung in Verbindung gebracht (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004). Durch den gezielten Einsatz unter Verwendung entsprechender Arbeitsanweisungen sieht Reuschenbach (2009) die Möglichkeit zur Förderung und Weiterentwicklung von visueller Kompetenz (vgl. Siegmund 2011; Kollar 2012; Ditter 2013). Die Autorin beschreibt im Rahmen eines schulischen Spiralcurriculums Niveaustufen einer Methodenkompetenz mit Bezug zur Luft- und Satellitenbildarbeit, wobei für die 9./10. Klasse der Einsatz von Echt- bzw. von Falschfarbenbildern aus dem nahen Erlebnisbereich vorgeschlagen wird. Der Lernprozess ist der Autorin zufolge derart gestaltet, dass die Auswertung ausgehend von problemorientierten Fragestellungen und unter der Bereitstellung von gezielten Hinweisen selbstständig durchgeführt wird, weiterführende Methoden wie Messen, Vergleichen oder Überprüfen zur Anwendung kommen, der übergeordnete Bezugsrahmen hergestellt wird und das Bild und seine Aussagekraft beurteilt werden (Reuschenbach 2009). Letzteres impliziert die Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen, anhand von Bildinhalten eine bestimmte Fragestellung beantworten zu können (Kollar 2012). Die Auswertung kann nach Ansicht von Reuschenbach (2009) in der 9./10. Klasse für die inhaltliche Erarbeitung von Themen mit Problemorientierung (u.a. Rohstoffe, Umweltfragen) sowie außerhalb des unmittelbaren Erfahrungsraums wie z.B. Energie, Strukturwandel oder Klima zum Einsatz kommen und sowohl für die Erschließung noch nicht bekannter Erdräume als auch von komplexen Raumstrukturen in bekannten Regionen dienen. Die Auswertung wird von der Autorin als eine von zahlreichen Methoden für den Geographieunterricht bezeichnet, über die der Aufbau einer mentalen Raumvorstellung im Sinne einer kognitiven Karte (vgl. Kapitel 2.4.1) und damit ein angemessenes geographisches Raumverständnis (Raumkompetenz) gefördert werden kann (vgl. Adamina & Wyssen 2005; Ditter et al. 2012: 220f.).

[38] Vom natürlichen Bildverstehen Weidenmanns (Kapitel 2.4.4.2) ausgehend zeichnen sich die höheren Kompetenzmodellstufen dadurch aus, dass „*immer weiter über das Bild hinaus gedacht*“ (Jahnke 2011: 93) wird. Die Bildrezeption kann durch Assoziationsprozesse, Erinnerungen bzw. durch (sie ausgelöste) Emotionen mit- oder überprägt werden.

Die Luft- und Satellitenbildarbeit folgt bewährten Auswertungsschritten. Dem eigentlichen Lesen und Auswerten wird zunächst eine Vorbereitungsphase vorangestellt, in der, i.d.R. unter Hinzunahme weiterer Informationsquellen, für die Auswertung wichtiges technisches Hintergrundwissen entweder den Lernenden vorgegeben oder von diesen selbstständig erarbeitet wird: dies betrifft u.a. die räumliche Verortung, die Orientierung bezogen auf die Himmelsrichtung, die räumliche wie spektrale Auflösung (Bildmaßstab/Größenverhältnisse bzw. Kanalkombination/Farbgebung) sowie den Aufnahmezeitpunkt mit Datum und ggf. zu berücksichtigende Einflüsse. Auf dieser Grundlage erfolgen anschließend die Schritte der Bildauswertung, die visuell und/oder mittels computerbasierter Analyseverfahren (vgl. hierzu u.a. in Hildebrandt 1996; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011) durchgeführt wird. In einem abschließenden Schritt werden die angeeigneten Rauminformationen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse dargestellt und festgehalten (Gerber & Reuschenbach 2005; Brucker 2006b: 179; Rinschede 2007; Kollar 2012).

Der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern liegen zu einem großen Teil gemeinsame Prinzipien zugrunde, weshalb starke methodische Überschneidungen bestehen und i.d.R. eine gemeinsame Behandlung erfolgt (Hildebrandt 1996; Siegmund & Menz 2005; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011). Hildebrandt (1996) weist daraufhin, dass sich die Gemeinsamkeiten seitens der Satellitenbilder in erster Linie auf a.) Echtfarbenbilder, b.) Falschfarbenbilder mit der Kanalkombination Rot, Grün und Nahes Infrarot sowie c.) monospektrale Schwarzweißbilder mit einem Kanal aus dem nahen Infrarotbereich beziehen. Bei allen anderen Kombinationen ist die Übereinstimmung dem Autor zufolge nur noch bedingt gegeben aufgrund der inhaltlichen Bedeutung der Spektralinformationen jenseits der Wahrnehmbarkeit des menschlichen Auges. Die (Wieder-)Erkennung ist dennoch auch bei solchen Kombinationen weiterhin mehr oder weniger möglich, setzt allerdings mitunter „*ein regelrechtes Umdenken und zumeist ein zum Interpretationsprozeß gehörendes Erkunden des Sinn- und Informationsgehalts der verschiedenen Grautöne bzw. Farben*“ (ebd., S. 517) voraus.

Die visuelle Auswertung lässt sich vor einem vielfältigen inhaltlich-thematischen Hintergrund durchführen, in den ökologische, sozioökonomische und gesellschaftliche Aspekte involviert sein können. Sie kann auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen realisiert werden, die von Kleinarealen bei hoher Raumauflösung bis hin zu großräumigen Strukturen/Prozessen auf globaler Ebene reichen (Hildebrandt 1996; Paine & Kiser 2003; Siegmund & Menz 2005; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011). Bestimmt werden können nach Hildebrandt (1996) einzelne Objekte/Objektarten bzw. größere Objektgruppen/-klassen sowie räumliche Muster, Gefüge und Ordnungen. Durch die Bildauswertung bzw. den Bildvergleich lassen sich nach Hildebrandt (1996), Gerber & Reuschenbach (2005), McCloy (2006), Lillesand et al. (2008), Albertz (2009), Campbell & Wynne (2011) und Kaminske (2012) mittels Zählung, Ein-/Abschätzung bzw. Schlussfolgerungen oder Rückschlüssen quantitative/qualitative Aussagen über nachfolgende Aspekte mehr oder weniger deutlich treffen:

- Anzahl, Häufigkeit, Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Flächeninhalt, Volumen sowie räumliche Position/Lage, Verteilung, Muster/Gruppierungen
- Zustand, Wesen, Eigenschaft, Beschaffenheit, Funktion bzw. Zweck
- Zusammenhänge (natürliche/soziale Beziehungen), Abhängigkeiten bzw. Synergismen
- Ursprünge, Entwicklungen, Veränderungen bzw. Zu-/Abgänge

Nach Hildebrandt (1996) können für diese Sachverhalte bzw. auf deren Basis Schlussfolgerungen gezogen, Wirkungsanalysen durchgeführt und Beurteilungen/Bewertungen vorgenommen werden, wobei die Bildauswertung nicht nur auf die unmittelbar sichtbaren Bildinhalte beschränkt bleibt, sondern:

> „*daß sowohl das Erkennen und Identifizieren als auch das Deuten und Auslegen von im Luftbild Gesehenem und das über Gesehenes hinausgehende, aus diesem zu Folgernde, Gegenstand der Luftbildinterpretation ist oder sein kann. Sie bedeutet ferner, daß neben der visuellen, sachkundigen Auswertung auch sich auf Grau- bzw. Farbwertmessungen von Bildgestalten stützende, semantische Auswertungen einbezogen werden können.*“ (ebd., S. 286).

In gleicher Weise heben Seger (2001: 407f.), Alean & Biber (2005), McCloy (2006), Reuschenbach (2007) und Albertz (2009) die Erschließung bzw. Schlussfolgerung von nicht im Bild unmittelbar Sichtbarem auf der Grundlage des bereits Erkannten hervor.

Ausgehend von einer Gegenüberstellung der Vorgehensweisen, die in der Fernerkundung (Hildebrandt 1996; Seger 2001: 402; McCloy 2006; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011) und Fernerkundungsdidaktik (Gerber & Reuschenbach 2005; Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007, 2009) beschrieben werden (Tabelle 8 [39]), lässt sich die visuelle Auswertung als ein dreischrittiger Auswertungsprozess verstehen (Abbildung 8). In Anlehnung an McCloy (2006) und Albertz (2009) verlaufen die Auswertungsschritte nicht trennscharf, sondern gehen vielmehr ineinander über. Sie beschreiben einen Iterationsprozess, bei dem ein allmähliches Verständnis für die Bildinhalte und das darüber hinaus Gehende entwickelt wird (vgl. Reuschenbach 2007, 2009; Kollar 2012).

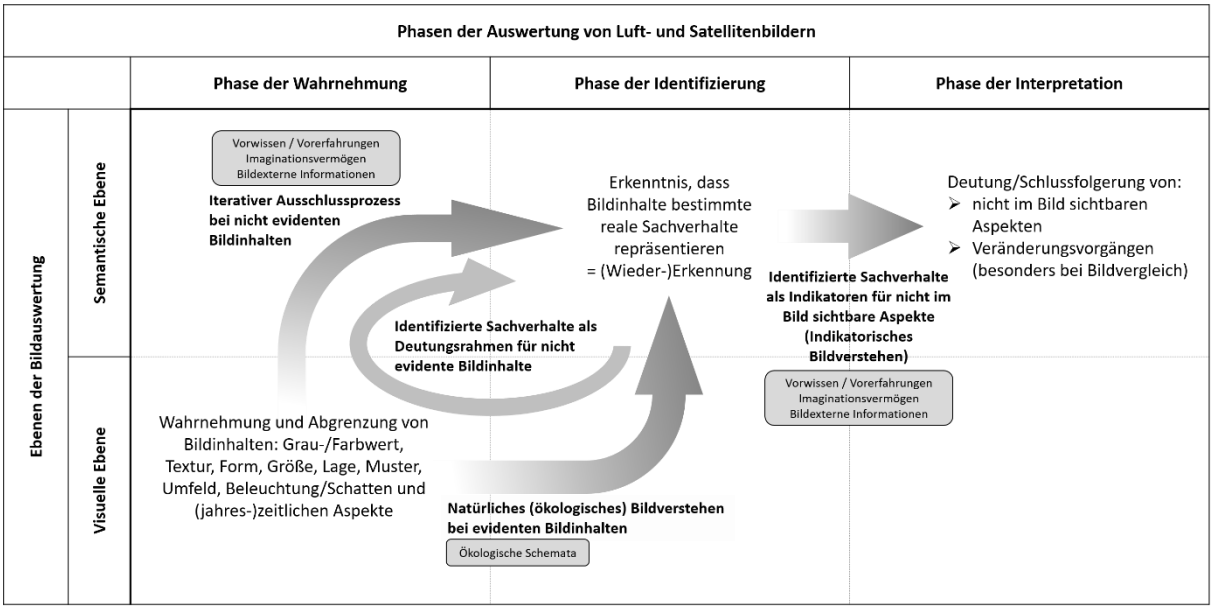


Abbildung 8: Ebenen und Phasen der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (eigene Darstellung)

[39] Nicht einbezogen ist das Kompetenzstrukturmodell für die *Satellitenbild-Lesekompetenz* von Kollar (2012), das sich aus den Dimensionen *Natürliches & indikatorisches Bildverstehen* sowie *Darstellen & Beurteilen des Aussagewertes* mit jeweils drei Stufen zusammensetzt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Vorgehensweisen bei der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern in der Fernerkundung(-sdidaktik)

McCloy 2006	Albertz 2009 (vgl. Neumann-Mayer 2005)	Campbell & Wynne 2011 (vgl. Seger 2001: 402*)	Reuschenbach 2007, 2009 (vgl. Kollar 2012)	Hildebrandt 1996	Gerber & Reuschenbach 2005
---	**Wahrnehmung** visueller Reize und deren kognitive Verarbeitung	**detection**: "*determination of the presence or absence of a feature*" (ebd., S. 132)	---	**Wahrnehmen** von Unterschieden (Grauwerte, Farben) und Bildgestalten (ebd., S. 286f.)	---
image reading: "*relatively superficial visual examination* […] *to quickly identify the main features*" (ebd., S. 147) **image analysis**: "*image reading with longer and more detailed visual inspection* […] *to understand the more general and obvious features* […] *as well as the measurement of those quantitative features deemed necessary*" (ebd., S. 147)	**Erkennen** von Objekten im Sinne einer *„Beantwortung der Frage »Was ist wo vorhanden?«*" (ebd., S. 131)	**recognition**: "*implies a higher level of knowledge about a feature or object , such that the object can be assigned an identity in a general class or category*" (ebd., S. 132) **identification**: "*the identity of an object or feature can be specified with enough confidence and detail to place it in a very specific class* " (ebd., S. 132) **classification**: "*assignment of objects, features, or areas to classes based on their appearance on the imagery*" (ebd., S. 132)	**Ökologisches Bildverstehen** (Erkennen): *„Beschreiben von Formen, Farben, Mustern, Strukturen usw. sowie Zuordnen von Merkmalen zu bekannten Erscheinungen (Straßen, Häuser, Infrastruktur, Grünflächen etc.). Der Schwerpunkt liegt auf der Beschreibung der Bildinhalte, die jeweils auch begründet werden soll."* (Reuschenbach 2009: 56)	**Erkennen** und **Identifizieren** *„von Objekten, Strukturen und Zusammenhängen"* (ebd., S. 287) anhand wahrgenommener Bildgestalten	**Bildidentifikation**: • räumliche Verortung mittels Karten • quantitative (Entfernungen, Größen, Flächenverhältnisse etc.) und qualitative (Farbe, Muster, Symbole etc.) Bildmerkmale erfassen • Identifikation von Objekten und Sachverhalten (Aussehen, Funktionen, Gruppierungen) • wahrgenommene Eindrücke und Gefühle bei Bildbetrachtung
image interpretation: "*is the inductive and deductive analysis of imagery, in conjunction with other data, to gain as full an understanding as possible of the features in the imagery, their functions and inter-relationships*" (ebd., S. 147)	**Interpretieren** geht *„über die bloße Feststellung von wahrnehmbaren Sachverhalten hinaus*" (ebd., S. 131); *„auf der Grundlage des Erkannten Rückschlüsse zu ziehen auf nicht direkt Erkennbares*" (ebd., S. 131)	---	**Indikatorisches Bildverstehen** (Interpretieren/Verstehen): *„Erklären und Begründen von Interpretationen, Einordnen des Bildes in einen inhaltlichen Kontext bzw. Zuordnung zu einem Thema, Herstellen eines Raumbezugs, Ableiten von Zusammenhängen, Beurteilen der Aussagekraft und des Informationsgehaltes des Bildes."* (Reuschenbach 2009: 56) Interpretation und weiterführende Informationen aus einem Bild entnehmen bzw. daraus ableiten	**Deuten** und **Auslegen** von *„Gegebenheiten, dort wo das Erkennen aus dem Gesehenen und Wahrgenommenen nicht offenkundig ist*" (ebd., S. 287f.) *„auf im Bild nicht Sichtbares zu schließen, bestimmte Wertungen vorzunehmen und Situationen zu beurteilen*" (ebd., S. 288) *„Wiederkennen zuvor schon einmal verifizierter Sachverhalte*" (ebd., S. 288)	**Bildinterpretation**: • Thema / Inhalt erschließen • Bildmerkmale interpretieren und erklären • Ursachen für Erscheinungen und Veränderungen deuten • Bildausschnitt und Bildperspektive bewerten

* Nach Seger (2001: 402) entspricht »detection« der Objektwahrnehmung, »recognition«/»identification« der Objekterkennung und »classification« der Objektbenennung/Einordnung in bekannte Objektklassen.

Angelehnt an das in Kapitel 2.4.4.2 vorgestellte Ablaufschema nach Weidenmann beginnt die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern mit der sensorischen Wahrnehmung des betrachteten Bildes als Ganzes, das als ein *„vielfarbiges Halbtonbild mit z.T. kleinräumigem Wechsel von Farb- und Tonwerten*“ (Seger 2001: 394) wahrgenommen wird. Anhand von Grauwert-/Farbwertunterschieden erfolgt bei Bildpixeln mit unterschiedlichen Spektralwerten (Mischsignaturen) durch Fokussierung bzw. Unterdrückung bestimmter visueller Reize eine sukzessive mentale Untergliederung in *„mehr oder weniger scharf abgegrenzte Einzelflächen*“ (Albertz 2009: 122) im Sinne einzelner, distinkter Wahrnehmungseinheiten bzw. Bildgestalten (Hildebrandt 1996; Seger 2001: 402; Neumann-Mayer 2005; Albertz 2009). Nach Albertz (2009) spielt die wahrnehmungspsychologische Neigung, *„einzelne Elemente dieser flächenhaften Untergliederung eines Bildes als Objekte, als reale Gegenstände wahrzunehmen und die Umgebung als unstrukturierten Hintergrund*“ (ebd., S. 123) zu erfassen (Figur-Grund-Verhältnis), gekoppelt mit der Tendenz, *„ganzheitliche Gestalten wahrzunehmen und unvollständige Figuren zu Ganzheiten zu ergänzen*“ (ebd., S. 123), in dieser Phase eine zentrale Rolle. Ausgehend von der alltäglichen Wahrnehmung einer räumlichen (dreidimensionalen) Welt setzt bei der weiteren wahrnehmungspsychologischen Verarbeitung über die flächenhafte Untergliederung hinaus eine räumliche Unterteilung ein, die im Übergangsbereich der Bildinhalte auf Gradienten in den Bereichen Größe, Dichte, Textur, Farbe, Helligkeit bzw. Kontrast zurückgeht. Dabei von Bedeutung ist die relative Lage, durch die sich Situationen der Ver-/Überdeckung ergeben, die den Eindruck erwecken können, dass Inhalte räumlich vor oder hinter anderen angeordnet sind (Albertz 2009).

An die Wahrnehmung schließen sich subjektive Identifizierungsversuche auf semantischer Ebene an, die bei frei sichtbaren Sachverhalten zur vorwissensbedingten (Wieder-)Erkennung führen (Hildebrandt 1996; Seger 2001: 402; Paine & Kiser 2003; Reuschenbach 2007; Albertz 2009; Kollar 2012). Für die Identifizierung sind die z.T. auf den Merkmalen der abgebildeten Sachverhalte selbst basierenden Faktoren Größe, Form, Helligkeit bzw. Grau-/Farbwert sowie Farbverteilung (Textur), Beleuchtung/Schatten, Muster, Lokation/Kontext (Assoziationen) und zeitbezogene Aspekte bedeutsam (Scholz et al. 1983; Hildebrandt 1996; Seger 2001: 402ff.; Paine & Kiser 2003; Gerber & Reuschenbach 2005; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 179; McCloy 2006; Reuschenbach 2007; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Kollar 2012).

McCloy (2006) schlägt für die Bildauswertung eine Vorgehensweise mit steigendem Differenzierungsgrad vor, die sich vom Allgemeinen/Überblicksartigen in Richtung Spezifisches/Details orientiert: konkret bedeutet dies, die Aufmerksamkeit zunächst auf leicht und eindeutig (wieder-)erkennbare Bildinhalte zu richten und sich mit deren Hilfe den nicht aus sich selbst heraus identifizierbaren zu nähern. Seger (2001: 403) setzt die Identifikation evidenter Bildinhalte an den Anfang, die aus der Sicht von Hieber & Lenz (2007), Reuschenbach (2007, 2009) und Kollar (2012) dem natürlichen Bildverstehen im Ablaufschema nach Weidenmann entspricht. Nach Seger (2001) spielt die Transportierbarkeit, d.h. die Tatsache, dass *„Gestalten trotz Abänderung im Detail wiedererkannt werden, solange bestimmte typische Merkmalsrelationen erhalten bleiben*“ (ebd., S. 402), eine zentrale Rolle. Bezüglich der o.g. Faktoren bedeutet dies, dass anhand von objekttypischen Merkmalen/Merkmalsrelationen Bildinhalte vorwissens-/vorerfahrungsbedingt als visuelle Repräsentation bestimmter realer Sachverhalte (wieder-)erkannt werden (Maier 1998; Seger 2001: 402; Campbell & Wynne 2011). Weidenmann (1994) beschreibt diesen Vorgang wie folgt:

> *„Das Schema fängt dann quasi die neuen Sinnesdaten ein und macht aus ihnen die bedeutungshaltigen Informationen*“ (ebd. S. 28).

Neumann-Mayer (2005) stellt in diesem Kontext eine Verbindung zu verschiedenen Formen mentaler Repräsentationen her, die an (Wieder-)Erkennungsprozessen beteiligt sind.

Da bei Luft- und Satellitenbildern keine eindeutige, d.h. per Konvention festgelegte Zuordnung zwischen Repräsentation und Original besteht, sind Identifizierungsversuche bei weniger evidenten Bildinhalten, v.a. bei den i.d.R. unbekannteren Falschfarbenbildern, in einem (sehr) hohen Maße subjektiven Charakters. Liegen keine weiteren Informationen über das Bild und seine Inhalte vor, bleiben Identifikationsversuche ausschließlich vom Vorwissen und den Vorerfahrungen in der Bildauswertung bzw. vom Vorstellungsvermögen abhängig (Albertz 2009). Im Rahmen einer iterativen Ausschließung von generell möglichen Objekten kann ggf. eine subjektiv ausreichende Anzahl an Beweisen gesammelt werden (convergence of evidence), die schließlich zu der Erkenntnis führt, welcher Sachverhalt repräsentiert ist (Hildebrandt 1996; Paine & Kiser 2003; Siegmund & Menz 2005; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011). Nach Albertz (2009) kann es dabei jedoch zu einer falschen Konzept-/Schemazuweisung und damit zu einer Fehlinterpretation kommen.

Entlang der o.g. Vorgehensweise nach McCloy (2006) kann über die Identifizierung markanter Objekte eine erste räumliche Einordnung und landschaftliche Zuordnung vorgenommen werden, anhand derer sich ein räumlicher Bezugsrahmen aufspannen lässt, z.B. die Eingrenzung auf einen bestimmten Landschaftstyp. Dieser Rahmen stellt bereichs-/regionsspezifische[40] Anhaltspunkte für die weitere Auswertung bereit, z.B. im Hinblick auf zu erwartende Siedlungs-/Flurformen oder Vegetations-/Bodentypen. Eine erste Grobgliederung größerer Bildinhalte kann bei einer geringeren Raumauflösung die Erfassung, Beschreibung und Erklärung von großräumigen Strukturen erleichtern. Bei Bildern mit höherer Raumauflösung lassen sich zu Anfang größere Landbedeckungs-/Landnutzungsformen wie Wälder, Wiesen, landwirtschaftliche Nutzflächen etc. räumlich erfassen. In beiden Fällen schließt sich die Analyse und Interpretation zunehmend kleinräumigerer Strukturen und Sachverhalte an (Beckel & Winter 1989; Hildebrandt 1996; Seger 2001: 394/405; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 179; Reuschenbach 2007; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Kaminske 2012; Kollar 2012).

Im weiteren Auswertungsprozess können die (wieder-)erkannten Bildinhalte als Ausgangspunkt für Deutungs-/Schlussfolgerungsprozesse herangezogen werden und auf diese Weise zu neuen Erkenntnissen über die identifizierten Sachverhalte führen (Bär 1977). Im Zuge dieses Bildverstehens zweiter Ordnung (Kapitel 2.4.4.2) erfolgt der Übergang von der Phase der Objektidentifizierung in die Phase der Bildinterpretation, bei der weitere Erkenntnisse über die Bildinhalte gewonnen werden, die zu einem umfassenderen Raumverständnis führen. In Anlehnung an Hildebrandt (1996) erfolgt an dieser Stelle ein endgültiger Übertritt auf die semantische Ebene der Bildauswertung: ausgehend von den identifizierten Bildinhalten setzen bedeutungsbezogene Assoziationsprozesse ein, die Verbindungen zu Aspekten herstellen, die mit den Bildinhalten unmittelbar verknüpft, jedoch als solche selber nicht im Bild sichtbar sind (Hildebrandt 1996; Seger 2001: 407f.; Alean & Biber 2005; Neumann-Mayer 2005; Brucker 2006b: 179; McCloy 2006; Reuschenbach 2007; Albertz 2009; Kollar 2012).

Die Phase der Bildinterpretation ist in einem starken Maße von bereichs-/regionsspezifischem Vorwissen, von Vorerfahrungen in der Bildinterpretation, vom individuellen Vorstellungsvermögen und ggf. auch von bildexternen Informationen abhängig. In ihrem Verlauf können Erkenntnisse gewonnen werden über den Zustand, das Wesen, die Eigenschaften, die Beschaffenheit, die Funktion bzw. den Zweck der identifizierten Sachverhalte. Dadurch, dass Bildinhalte zueinander in Beziehung gesetzt

[40] Die Bedeutung des regionsspezifischen Wissens, das i.d.R. aus alltäglichen Primärerfahrungen vor Ort oder ggf. aus der Aneignung entsprechender Informationen mittels Sekundärquellen herrührt, wird im Zuge der Untersuchungen von Neumann-Mayer (2005) mit Drittklässlern ersichtlich, die ihren Heimatort auf Satellitenbildern lokalisieren konnten. Als gedankliche Anknüpfungspunkte können Ortskenntnisse nicht nur einen Zugang zu den betreffenden Bildinhalten ermöglichen (Vorwissensaktivierung), sondern auch einen Ausgangspunkt für die Erschließung weiterer Inhalte bieten. Die Bedeutung spezifischer Ortskenntnisse wird von Wastl (2000) gleichfalls hervorgehoben.

werden, können Auskünfte über Verhältnisse, Zusammenhänge oder Abhängigkeiten kausaler, genetischer bzw. funktionaler Art gewonnen werden. Zudem können u.U. Einblicke in räumliche Vorgänge und raumwirksame Handlungen (Reuschenbach 2007) sowie in landschaftsverändernde Prozesse und die Landschaftsgenese allgemein (Kollar 2012) erlangt werden. Dies wird besonders durch den Vergleich von Bildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte möglich, mittels dessen Vorstellungen über raumzeitliche Abläufe, Aktivitäten, Handlungen, Prozesse, Entwicklungen, Veränderungen oder Dynamiken und deren Ursprünge/Ursachen sowie Zu-/Abgänge und Folgen oder Auswirkungen gewonnen werden können. In Anlehnung an Albertz (2009) lassen sich dabei ggf. auch Prognosen über zukünftige Zustände eines Erdraums bzw. über die Prozesse darin treffen.

Reuschenbach (2007, 2009) bringt diese Phase mit dem indikatorischen Bildverstehen im Ablaufschema von Weidenmann in Verbindung (vgl. Hieber & Lenz 2007; Kollar 2012). Der Autorin zufolge bezieht sich dieses Bildverstehen bei der Luft- und Satellitenbildauswertung weniger auf die Erfassung und Rekonstruktion einer Bildmitteilung[41], als vielmehr auf eine selektionierte Wahrnehmung der gegebenen Bildinhalte unter der Fragestellung, welche von ihnen innerhalb eines bestimmten Lernkontextes, z.B. eines bestimmten Unterrichtsthemas, dargestellt sein könnten (Reuschenbach 2007). Gemäß der Autorin kann die Bewusstwerdung dieser Fragestellung zu einer zügigen/vereinfachten Kategorisierung der Bildinhalte führen. Für Hieber & Lenz (2007) geht es hierbei, ggf. unter Zuhilfenahme von bildexternen Informationen (vgl. Brucker 2006b: 179) oder mittels Bildvergleich, um Rückschlüsse auf Strukturen und Prozesse anhand von bildinternen Indikatoren. Diese gehen aus (wieder-) erkannten Bildinhalten hervor, die im weiteren Interpretationsprozess als Anhaltspunkte für Auskünfte über den Raum, seine Struktur und die in ihm ablaufenden Prozesse fungieren (Seger 2001: 407f.). Aus der Sicht von Reuschenbach (2009) besteht das Ziel dieses Bildverstehens folglich im „*Erklären und Begründen von Interpretationen, Einordnen des Bildes in einen inhaltlichen Kontext bzw. Zuordnung zu einem Thema, Herstellen eines Raumbezugs, Ableiten von Zusammenhängen, Beurteilen der Aussagekraft und des Informationsgehaltes des Bildes*“ (ebd., S. 56).

Nach Albertz (2009) bietet die Luftbildauswertung das Potenzial für die Analyse von Landschaftselementen, gefolgt von einer Synthese mit der Absicht, „*nach Ursache und Wirkung zusammengehörige Landschaftselemente zu erkennen und funktionale Zusammenhänge im Landschaftshaushalt zu erfassen*“ (ebd., S. 180). In Anknüpfung daran bietet die Satellitenbildauswertung laut Seger (2001: 407f.) das Potenzial, über die reine Erfassung von Raumstrukturen und deren kognitive Verarbeitung im Rahmen des Aufbaus einer mentalen Raumvorstellung bzw. kognitiven Karte (vgl. Reuschenbach 2007, 2009; Kaminske 2012) hinaus die Raumwirksamkeit natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse zu begreifen und auf die hinter den Bildinhalten stehenden natürlichen wie sozioökonomischen Strukturen und Prozesse zu schließen.

Die Schritte der Luft- und Satellitenbildauswertung beschreiben einen umfassenden visuell-kognitiven Akt einer (sehr) stark subjektiv geprägten Identifizierung/Interpretation von Bildinhalten, bei der die Wahrnehmung bildinterner Indikatoren essenziell ist für die Gewinnung einer Raumvorstellung über die unmittelbar sichtbaren Sachverhalte hinaus, u.a. im Hinblick auf vergangene und zukünftige Entwicklungen. Aus fernerkundungsdidaktischer Sicht sind die nachfolgenden personalen und externalen Variablen zu berücksichtigen, die auf den Erfolg des Auswertungsprozesses potenziell einwirken.

[41] Da Luft- und Satellitenbilder nach Jahnke (2011: 89) implizit neutral und damit vermeintlich wert- und intentionsfrei sind, lässt sich das indikatorische Bildverstehen als Entschlüsselung eines visualisierten Arguments nur in begrenztem Maße auf sie anwenden. Kollar (2012) verweist ihrerseits auf die technische (neutrale) Entstehung, die höchstens durch Sensoreigenschaften sowie bei analogen Bildern durch die Auswahl des Erdraums und der Farbgebung beeinflusst sind.

Auf der personalen Ebene wird die Bedeutung von bereichsspezifischem/methodischem Vorwissen bzw. von Vorerfahrungen in der Bildauswertung aus dem Unterricht oder der Freizeit betont (Neumann-Mayer 2005; McCloy 2006; Reuschenbach 2007; Albertz 2009; Siegmund 2011; Ditter et al. 2012: 220; Kollar 2012; Ditter 2013). Die unmittelbare Bedeutung beschreibt Kollar (2012) wie folgt:

> „*Wie durch bisherige Forschungen untermauert* […]*, kann bei höherem Vorwissensstand bzw. häufigerer Beschäftigung mit einem bestimmten Medium auch eine höhere Kompetenz erreicht werden, dieses zu analysieren.*“ (ebd., S. 113)

Dass allerdings auch Lernende ohne entsprechende Vorerfahrung gut oder sogar besser bei der Bildarbeit abschneiden können als Lernende, die bereits mit diesem Medium gearbeitet haben, zeigt die Studie von Siegmund (2011). Dennoch wird allgemein der positive Einfluss des Vorwissens bzw. der Vorerfahrungen betont. Hierzu gehört u.a. das Wissen über die kausale Entstehung und die spezifischen Eigenschaften und Wesensmerkmale (Scholz et al. 1983; Beckel & Winter 1989; Plümacher 1998: 54). Aus dem Wissen darüber kann bei digitalen Luft- und Satellitenbildern ein Bewusstsein für die Verfügbarkeit verschiedener Spektralinformationen mit ihrer spezifischen Bedeutung hervorgehen (Reuschenbach 2007; Campbell & Wynne 2011). Hiermit verbunden ist ein Bewusstsein dafür, dass Bildinhalte in verschiedenen Spektralbereichen (Kanalkombinationen) in unterschiedlicher Deutlichkeit wahrgenommen werden können (Beckel & Winter 1989). Entsprechendes Wissen über die Möglichkeiten, Kombinationen auch mit Kanälen außerhalb des sichtbaren Lichts verwenden zu können, spielt nach Ansicht von Hildebrandt (1996), Neumann-Mayer (2005) und Reuschenbach (2007) eine ebenso große Rolle wie die damit verbundene Notwendigkeit, sich der Auswirkungen auf die Farbgebung und die inhaltliche Bedeutung bewusst zu sein (Brucker 2006b: 179; Albertz 2009):

> „*Bei farbenfrohen und auch ästhetischen Farbkompositen kann ggf. ein unerfahrener und sachlich unkundiger Auswerter dem schönen Schein erliegen, ohne hinreichend zu wissen, welche Informationen, in welcher Differenziertheit und Sicherheit im gegebenen Farbenspiel zum Ausdruck kommen.*“ (Hildebrandt 1996: 517)

Vor allem jüngere Lernende tendieren häufig dazu, mit bestimmten Farben bestimmte Sachverhalte zu assoziieren (Neumann-Mayer 2005; Rinschede 2007); diese Vorprägung im Farbbereich rührt nach Neumann-Mayer (2005) aus alltäglichen Wahrnehmungen wie auch aus dem gewohnten Umgang mit Karten und der in ihnen gebräuchlichen Farbgebung her. Nach Ansicht der Autorin sowie von Seger (2001: 403) kommt es bei Identifizierungsproblemen, wenn keine adäquaten Erklärungsansätze aus alltäglichen Erfahrungen gefunden werden können, zu einem Rückgriff auf das eigene Kartenwissen[42]. Aufgrund von Untersuchungsergebnissen (vgl. hierzu in Reuschenbach 2009; Siegmund 2011) kann davon ausgegangen werden, dass Echtfarbenbilder „*durch ihre alltägliche Wahrnehmung geläufiger und daher (wahrscheinlich) einfacher zu analysieren*“ (Kollar 2012: 44) sind als die ungewohnte Farbgebung von Falschfarbenbildern.

Mit den Kenntnissen über die Luft- und Satellitenbildentstehung verbunden ist Wissen über ihre Darstellungsperspektive von oben und deren Auswirkung auf die Art und Weise, wie Erdräume und Sachverhalte repräsentiert sind. Dies betrifft z.B. fehlende Raumtiefe, Effekte durch Schattenwürfe und Objektverdeckungen, perspektivenbedingte Raumverzerrungen sowie Wirkungen auf die Wahrnehmung von Bildvorder-/-hintergrund bei Schrägaufnahmen (Rinschede 2007; Campbell & Wynne

[42] Erkenntnisse in Bezug auf ältere Lernende, z.B. aus der Kursstufe, sind nicht bekannt. Es erscheint jedoch nicht ausgeschlossen, dass auch diese nach vielen Jahren der unterrichtlichen Auseinandersetzung mit Karten (unter-)bewusst ähnliche Assoziationen herstellen.

2011; Kaminske 2012). Für eine adäquate Auswertung bedarf es deshalb auch der Fähigkeit zum mentalen Perspektivenwechsel[43] (Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007; Lillesand et al. 2008; Kollar 2012). Das individuelle Vermögen, sich vorstellen zu können, wie Sachverhalte aus der Vogelperspektive aussehen, und sich darauf aufbauend Gedanken darüber zu machen, welche Sachverhalte konkret abgebildet sind, ist in diesem Kontext ebenso relevant (Hildebrandt 1996; Paine & Kiser 2003; McCloy 2006; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009). Neben bereichsspezifischem Wissen, z.B. über die verschiedenen Landbedeckungs-/Landnutzungskategorien, ist des Weiteren allgemeines Weltwissen bzw. regionsspezifisches Wissen von Bedeutung (Hildebrandt 1996; Paine & Kiser 2003; Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007; Campbell & Wynne 2011).

Vorteilhaft für die Bildauswertung ist ferner die Fähigkeit/Kompetenz zum mentalen Wechsel zwischen der Dreidimensionalität der Wirklichkeit und der Zweidimensionalität der Bildebene sowie jene, sich im Zuge der mentalen Maßstabsreduktion Erdräume auf die Größe eines Luft- bzw. Satellitenbildes verkleinert vorzustellen (Paine & Kiser 2003; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Kaminske 2012). Des Weiteren gilt es mit der z.T. hohen Bildkomplexität umzugehen. Hierzu bedarf es der metakognitiven Fähigkeit zur Strukturierung nach Regeln sowie zur Unterscheidung zwischen den für die Aufgaben-/Fragestellung relevanten und nicht relevanten Bildinhalten im Sinne der o.g. selektionierten Wahrnehmung (Scholz et al. 1983; Reuschenbach 2007).

Nach Hildebrandt (1996) sind neben Einflüssen durch das physische Sehvermögen wie die von Kollar (2012) untersuchte Rot-Grün-Sehschwäche des Weiteren intellektuelle Fähigkeiten wie das Vergleichen, Erinnern, Abstrahieren, Assoziieren oder Schlussfolgern (vgl. Paine & Kiser 2003, McCloy 2006; Albertz 2009) und auch die Motivation als Einfluss auf die Sorgfalt bei der Bildarbeit sowie die Vorerfahrung (vgl. Wastl 2000) zu berücksichtigen. Auf die Motivation, die u.a. mit dem Interesse an (der Arbeit mit) Luft- und Satellitenbildern zusammenhängt, gehen Reuschenbach (2007), Siegmund (2011), Kollar (2012) und v.a. Ditter (2013) ausführlich ein. Siegmund (2011) verweist dabei, wie zuvor auch Neumann-Mayer (2005), auf die größere Ausprägung bei jüngeren Lernenden. Reuschenbach (2007) führt ästhetische und emotionale Gründe an, gepaart mit einer Faszination für die hochmoderne Weltraumtechnologie.

Gemäß Siegmund (2011) und Kollar (2012) übt das Alter einen Einfluss aus. Das Geschlecht hatte bei ersterer eine Bedeutung bei der Bildarbeit: Unter den aus Deutschland teilnehmenden Proband/innen zeigten die männlichen ein größeres Interesse und eine größere Motivation und gaben weniger Verständnisschwierigkeiten an. Bei ihrer Untersuchung konnte Kollar (2012) ebenso ein größeres Interesse und eine häufigere Nutzung seitens der Probanden feststellen. Dass diese zudem bessere Ergebnisse bei der Satellitenbildauswertung zeigten, führt die Autorin auf ein ausgeprägteres räumliches Denken zurück. Ditter (2013) berichtet seinerseits von einer intrinsischen Motivationszunahme aller Proband/innen, die jedoch bei den Probandinnen (geringere Motivation zu Anfang) mit wachsender Vertrautheit im Umgang mit digitalen Satellitenbildern stärker ausgefallen ist als bei den Probanden (hohe Motivation zu Anfang). Der Autor berichtet ferner von spezifischen Unterschieden zwischen den Testgruppen, die auf die Zugehörigkeit zu verschiedenen Schulklassen zurückgeführt wird.

[43] Ausgehend von der Bedeutung von Konzepten/Schemata beim Identifizierungsprozess deutet Neumann-Mayer (2005) an, dass der Perspektivenwechsel bei besonders signifikanten Schemata im Sinne typisch geographischer (und damit grundsätzlich bekannter) Bildinhalte wie Siedlungen, Wälder, Straßen etc. möglicherweise keine große Herausforderung darstellt. Grund hierfür ist die Fähigkeit, mentale Modelle über die repräsentierten Sachverhalte gedanklich durchspielen zu können (vgl. Kapitel 2.2). In diesem Sinne kann das Wissen über das grundsätzliche Aussehen als Bestandteil eines mentalen Modells dazu beitragen, Sachverhalte auch aus ungewohnter Perspektive zu erkennen, ohne diese zuvor derart gesehen zu haben. Diese Annahme führt die Autorin auf Untersuchungsergebnisse mit Drittklässlern zurück.

Bezüglich bildexterner Einflüsse ist in besonderem Maße die Bildqualität zu nennen (Hildebrandt 1996), die in Abhängigkeit zur räumlichen/spektralen Auflösung sowie zu den Aufnahmebedingungen steht: Sie wirkt sich maßgeblich auf die Lesbarkeit der Bildinhalte aus und kann bei hoher Raumauflösung ein starkes Realitätsgefühl hervorrufen bzw. bei geringer Auflösung zumindest noch einen Überblick über großräumige Strukturen ermöglichen. Bei einer hohen Spektralauflösung sind Einblicke in Sachverhalte auch jenseits der Wahrnehmbarkeit des menschlichen Auges möglich. In didaktischer Hinsicht können sich zudem die absolute Bildgröße und die Farbgebung auf die Zugänglichkeit und Anschaulichkeit auswirken. Bei der Betrachtung am Computer spielt ferner die Möglichkeit zum Hineinzoomen eine Rolle, wodurch sich die Lesbarkeit der Bildinhalte verbessern kann (Beckel & Winter 1989; Reuschenbach 2007, 2009).

Dass sich nicht alle Bildinhalte aus sich selbst heraus erkennen lassen, kann besonders bei inhaltlich-strukturell komplexen Bildern dazu führen, dass diese ganz oder teilweise mehrdeutig und unverständlich bleiben (Scholz et al. 1983; Rinschede 2007; Reuschenbach 2007). Nach Reuschenbach (2007) stellt diese unklare Gemengelage allerdings Schwierigkeit und Reiz zugleich dar; letzterer hängt mit dem Ablaufschema von Weidenmann zusammen. Zentral hierfür ist die Auswahl eines adäquaten Bildmaterials (Neumann-Mayer 2005; Reuschenbach 2007; Kollar 2012). Hinweise zum Bild, v.a. für jüngere Lernende, sowie anregende Aufgabenstellungen können eine intensivere Auseinandersetzung (zusätzlich) einleiten bzw. aufrechterhalten (Reuschenbach 2007).

Reuschenbach (2007, 2009) verweist schließlich auf die Bedeutung des verfügbaren Zeitrahmens (vgl. Rinschede 2007) sowie auf die Lernsituation, d.h. den Kontext der Bildauswertung, die auf die von Hildebrandt (1996) genannte situative Stimmung einwirkt. Letztere kann positiv beeinflusst werden durch die (subjektiv) erfolgreiche Identifizierung/Interpretation, die das „*Zutrauen zu den eigenen Fähigkeiten und die Motivation wachsen*“ (Neumann-Mayer 2005: 148) lässt.

2.4.3 Topographische Karten

Als Informationsträger sind topographische Karten das Produkt eines spezifischen Entstehungsprozesses, der ihr Wesen, ihre Eigenschaften und die in ihnen enthaltenen Rauminformationen definiert. Diese Charakteristika stehen in Kapitel 2.4.3.1 im Mittelpunkt. Die hieraus hervorgehenden Implikationen für ihre kognitive Verarbeitung bei der visuellen Auswertung werden in Kapitel 2.4.3.2, zusammen mit den darauf einwirkenden Variablen, in den Blick genommen.

2.4.3.1 Wesen und Eigenschaften

Topographische Karten beruhen wie Karten allgemein auf einem Entstehungsprozess, bei dem der Kartenproduzent im Rahmen von Darstellungskonventionen ein „*durch Zeichen verschlüsseltes Abbild* [der; Anm. des Autors] *Wirklichkeit*“ (Claaßen 1997a: 5) erstellt (Schmaucks 1998; Wiegand 2006; Gryl et al. 2010; Hemmer et al. 2010; Kaminske 2012). Ziel dieses Kommunikationsprozesses zwischen Kartenproduzent und -rezipient ist die „*Übermittelung von Botschaften durch optische Signale*“ (Domnick 2004: 36) in Form von symbolbasierten, informationshaltigen Zeichen (Montello 1998; Schmaucks 1998; Rinschede 2007; Diekmann-Boubaker 2010). Gegenüber dem dargestellten Erdraum sind alle Karten inhaltlich entlastet: Je kleiner der Kartenmaßstab ist, umso mehr bedarf es der Vereinfachung, Hervorhebung bzw. Verdrängung von Zeichen. Durch diesen Zwang zur räumlichen Generalisierung ist in Karten stets nur ein Teil der im repräsentierten Erdraum vorkommenden Vielfalt dargestellt, sodass sie vielmehr einer modellhaften graphischen Annäherung an diesen gleichen (Bär 1977; Scholz et al. 1983; Claaßen 1997a, 1997b; Schmaucks 1998; Domnick 2004; Albertz 2009; Gryl et al. 2010; Hüttermann 2012a: 198; Kaminske 2012). Das Ziel der inhaltlichen Generalisierung ist die

(beabsichtigte) inhaltliche Fokussierung auf eine bestimmte Thematik oder einen bestimmten Verwendungszweck, wodurch der Karteninhalt auf eine „*überschaubare Zahl von Inhaltsklassen und Objekten*“ (Seger 2001: 394) und damit auf bestimmte Rauminformationen an sich reduziert und konzentriert wird (Bär 1977; Scholz et al. 1983; Claaßen 1997a; Seger 2001: 394; Domnick 2004; Albertz 2009; Hüttermann 2012a: 193). In den von amtlicher Seite ausgegebenen topographischen Karten der Maßstäbe 1 : 5.000 (Deutsche Grundkarte: DGK 5) bis 1 : 1.000.000 ist dies das topographische Grundgerüst eines Erdraums mit Relief, Gewässern, Vegetation/Bodenbewuchs, Siedlungen, Gewerbe/Industrie, infrastrukturellen Einrichtungen, Grenzen politischer Einheiten, Nationalparks/Naturschutzgebieten und sonstigen topographischen Erscheinungen/Objekten wiedergegeben (Wallert 1993; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007; Rinschede 2007; Albertz 2009; Diekmann-Boubaker 2010; Kaminske 2012). In der heterogenen Gruppe der thematischen Karten sind hingegen unterschiedlichste geographische Themen in ihrer räumlichen Existenz dargestellt, während in physischen Karten das über farbige Höhenschichten dargestellte Relief (Reliefkarten) im Vordergrund steht und beim didaktischen Typ der stummen Karten die Kartenbeschriftung von Lernenden selbst noch eingetragen werden muss (Rinschede 2007; Diekmann-Boubaker 2010; Hüttermann 2012a: 200).

Als maßstäblich verkleinerte, verebnete, generalisierte und eingenordete Repräsentationen (Bär 1977; Scholz et al. 1983; Wallert 1993; Claaßen 1997a, 1997b; Schmaucks 1998; Seger 2001: 394; Domnick 2004; Diekmann-Boubaker 2010; Gryl et al. 2010; Hüttermann 2012a: 194/198; Kaminske 2012) stimmen Karten strukturell mit dem in ihnen repräsentierten Erdraum überein, sodass sie „*räumliche Systeme auch räumlich abbilden*“ (Hemmer et al. 2010: 159). Dies führt dazu, dass räumliche Anordnungen und Lageverhältnisse, je nach Maßstab, grundrisstreu bis lageähnlich wiedergegeben sind: Bei sehr großmaßstäbigen Karten stimmt die absolute Lage mit der im Erdraum überein, während bei kleinmaßstäbigen die relativen Lageverhältnisse noch weitestgehend gewahrt bleiben (Montello 1998; Schmaucks 1998; Hüttermann 2005, 2012a: 196; Wiegand 2006; Gryl et al. 2010; Hemmer et al. 2010).

In Anlehnung an Gryl et al. (2010) sind Karten grundsätzlich hybride Gebilde, die die Charakteristika von Bildern und von Texten aufweisen, da in ihnen sowohl graphische als auch verbal-numerische Zeichen für die Repräsentation physisch existierender bzw. nicht sichtbarer Sachverhalte zum Einsatz kommen (Bär 1977; Scholz et al. 1983; Wallert 1993; Claaßen 1997a, 1997b; Schmaucks 1998; Wastl 2000; Seger 2001: 394; Domnick 2004; Gryl et al. 2010; Hüttermann 2012a: 194/198; Kaminske 2012):

- *Graphisches Zeichensystem*: In Abhängigkeit zum Maßstab werden Rauminformationen als punktförmige, lineare oder areale Zeichen, den Signaturen, mit bildhaft-konkretem bis abstrakt-geometrischem Charakter dargestellt. Während großmaßstäbige Karten Sachverhalte grundrisstreu und durchaus anschaulich repräsentieren, liegen in kleinmaßstäbigen abstrakt-geometrische Zeichen mit z.T. wenig assoziativem Charakter vor. Informationen über das tatsächliche Aussehen gehen in diesen Karten umso mehr verloren, je abstrakter die Zeichen sind. Sie sind deshalb weder konkret, noch geben sie Einblicke in die konkreten Verhältnisse des Erdraums. Umgekehrt fördern bildhaft-konkrete Zeichen mit hoher visueller Ähnlichkeit zum Dargestellten die eigene Lesbarkeit, indem sie möglichst schnelle Assoziationen fördern. Insbesondere jene Zeichen gelten dabei als selbsterklärend, die aus der Draufsicht unmittelbar erschließbar sind, wie die Umrisse eines Sees, oder lediglich der Differenzierung dienen, wie z.B. unterschiedliche Farben für verschiedene politische Einheiten. Sachverhalte, die in der Realität gleich sind, werden in kleinmaßstäbigen Karten über gleiche Signaturen und ihre Variationen über Variationen der Zeichen im Bereich ihrer Farbe, Helligkeit, Form, Richtung, Größe bzw. Textur repräsentiert. Sachverhalte, die in der Realität untereinander (leicht) variabel ausgeprägt sind, werden über ein uniformes Symbol repräsentiert und damit vereinheitlicht. Bei thematischen Karten kommen zudem graphische Gestaltungsmittel

wie Muster, Diagramme, Pfeile etc. zum Einsatz (Scholz et al. 1983; Kulhavy et al. 1993; Wallert 1993; Kulhavy & Stock 1996; Claaßen 1997a; Schmaucks 1998; Wastl 2000; Domnick 2004; Rinschede 2007; Albertz 2009; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010; Hüttermann 2012a: 198ff., 2012b: 24; Kaminske 2012).

- *Verbal-numerisches Zeichensystem*: Kartenrahmen, -schrift und -legende enthalten Buchstaben und Ziffern , die u.a. Auskunft geben über Eigennamen, die geographische Position oder die Höhe über dem Meeresspiegel (Schmaucks 1998; Domnick 2004; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010; Hüttermann 2012a: 200f.).

Obschon alle Karten gegenüber der Vielfalt des dargestellten Erdraums unvollständig sind, zeichnen sie sich gerade wegen dieser Unvollständigkeit als ein klar und übersichtlich gestaltetes Medium aus, das eine optimale visuelle Wahrnehmbarkeit und Lesbarkeit seiner Inhalte bietet (Scholz et al. 1983; Seger 2001: 394). Die Bedeutung jener Zeichen (Signaturen), die vom Kartenproduzenten für nicht selbsterklärend gehalten werden, ist in der Kartenlegende als erläuterndem Zeichenschlüssel festgelegt (Claaßen 1997a; Plümacher 1998: 56; Schmaucks 1998; Rinschede 2007; Hüttermann 2012a: 207). Die Legende ist unterteilt in verschiedene Inhaltskategorien und enthält darüber hinaus weitere Informationen zum Kartenausschnitt. Durch die Verwendung eines normierten Zeichensystems für die definierten, klassifizierten Inhalte in topographischen Karten wird die eindeutige Erschließbarkeit der inhaltlichen Bedeutung der einzelnen Signaturen sichergestellt (Seger 2001: 394; Siegmund & Menz 2005). Im Gegensatz dazu enthalten thematische Karten kein universell gültiges Zeichensystem, sondern weisen innerhalb der gültigen Darstellungskonventionen mehr oder minder große Abweichungen zwischen den produzierenden Karten-/Schulbuchverlagen auf (Scholz et al. 1983; Kulhavy et al. 1993; Wallert 1993; Rinschede 2007; Lenz 2009; Diekmann-Boubaker 2010).

2.4.3.2 Visuelle Auswertung

In den Bildungsstandards im Fach Geographie (DGfG 2012) wird dem Umgang mit Karten, d.h. der *Kartenkompetenz* (Hüttermann 1998), ein besonderer Stellenwert im Kompetenzbereich *Räumliche Orientierung* zugewiesen. Mit Karten adäquat umgehen zu können, wirkt sich u.a. auf die Orientierung in Realräumen und die Reflexion (subjektiver) Raumwahrnehmungen aus. Ziel ist u.a., dass „*Schülerinnen und Schüler* […] *topographische, physische, thematische und andere alltagsübliche Karten lesen und unter einer zielführenden Fragestellung auswerten*“ (DGfG 2012: 17) können. Im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*/*Methoden* gelten Karten in besonderem Maße als ein Medium, mittels dessen es Informationen für die Beantwortung von Fragestellungen zu gewinnen gilt: dies impliziert die zielgerichtete Informationsauswahl/-entnahme und ihre Strukturierung, Verknüpfung mit weiteren Informationen bzw. Umwandlung in andere Repräsentationsformen (DGfG 2012). Nach Lenz (2006a, 2009, 2012: 198) sollte in der 9./10. Klasse der Umgang mit komplexeren Karten, die über eine höhere bzw. hohe Informationsfülle und Signaturendichte verfügen, beherrscht werden: dies betrifft u.a. das weitgehend selbstständige Lesen, Verstehen und Interpretieren, die selbstständige Verwendung in problemorientierten Kontexten sowie die selbstständige Ableitung von komplexen kausalen und funktionalen Zusammenhängen.

Auf der Basis von Hüttermann (1998) gelten neben dem Erwerb von Kartenkompetenz die Aneignung von Wissen über die Vermittlung, Erarbeitung und Darstellung der Rauminformationen, der Aufbau eines topographischen Orientierungsrasters sowie Aspekte der Kartenreflexion bzw. von kognitiven Karten als zentrale Ziele der Kartenarbeit (Lenz 2006a: 196; Wiegand 2006; Rinschede 2007). Der Erwerb von Kartenkompetenz erfolgt im Rahmen der Auseinandersetzung mit den kartographischen Grundlagen und den in Karten verwendeten Gestaltungsmethoden/-mitteln (Hüttermann 1998; Lenz

2006a: 196; Rinschede 2007). Unter Kartenkompetenz, die sich als *Handlungskompetenz mit Karten* verstehen lässt (Hüttermann 2005), werden die folgenden Kompetenzen subsumiert[44] (Hüttermann 1998, 2005, 2012a: 205, 2012b: 22/28; Rinschede 2007):

- *Fähigkeit zur Auswertung vorhandener Karten* (*Kartenlesen*): Diese auch als Kartenauswertekompetenz verstandene Komponente umfasst das Lesen und Interpretieren. Ersteres bezieht sich auf die Informationsentnahme und Orientierung auf und mit einer Karte. Letzteres umfasst das Verständnis der repräsentierten Inhalte und ihre Interpretation unter Vorwissenseinfluss.
- *Fähigkeit zur Bewertung von Karten* (*Kartenbewerten*): Im Mittelpunkt steht die Reflexion der Inhalte, der Karte als graphische Repräsentation sowie der Intentionen des Kartenproduzenten.
- *Fähigkeit zum selbstständigen Anfertigen von Karten* (*Kartenzeichnen*): Im Zentrum dieser Komponente steht das Anfertigen von (einfachen) thematischen und topographischen Skizzen.

Für die Kartenauswertekompetenz ist ein Kompetenzstrukturmodell entwickelt worden (Abbildung 9), dem das Modell der Lesekompetenz (u.a. auch Karten) aus den Studien des *Programme for International Student Assessment* (Baumert et al. 2001) sowie das *Modell des Text- und Bildverstehens* von Schnotz & Kollegen (Kapitel 2.4.4.2) zugrunde gelegt wird. In ihm werden als Kartenauswertung alle visuell-kognitiven Prozesse erfasst, die die Entnahme der Rauminformationen aus einer Karte betreffen und Auskunft über die repräsentierten Sachverhalte und ihre Relationen geben. Dem Modell liegt ein systemisches Raumverständnis zugrunde (Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 144ff.). Innerhalb des Modells wird, wie bei Wiegand (2006), zwischen Kartenlesen und der darauf aufbauenden Karteninterpretation differenziert.

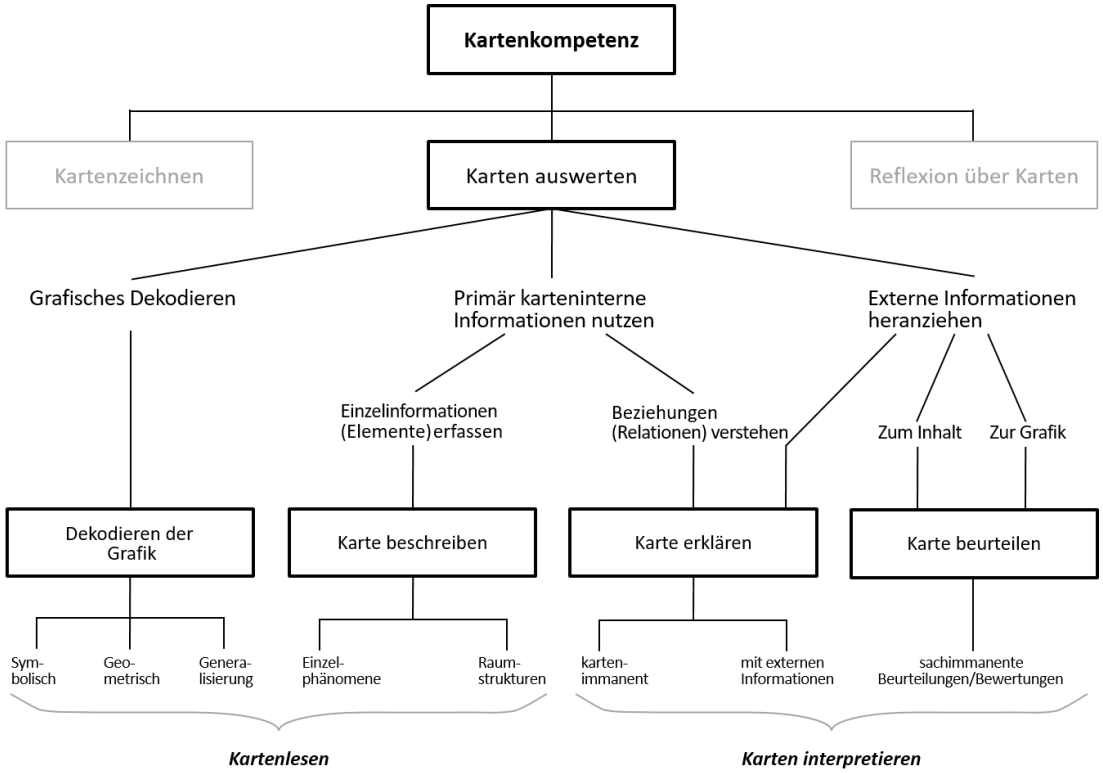


Abbildung 9: Kompetenzstrukturmodell zur Kartenauswertung (Hemmer et al. 2010)

[44] Hiervon abweichende Gliederungen haben Claaßen (1997a), der von *Karten lesen*, *Karten verstehen* und *Karten anfertigen* spricht, sowie Lenz (2006a), der in seinem Modell zwischen dem *Lesen* (Kenntnisse über die kartographischen Grundlagen, Gestaltungsmittel etc.), *Verstehen* (Orientierung auf/mit Karten, Informationsentnahme und Verständnis des Karteninhalts) und *Interpretieren* (Verständnis und Interpretation des Karteninhalts) unterscheidet.

Bei der Arbeit mit Karten erfolgt beim Kartenlesen die mentale Erfassung des Kartentitels, des repräsentierten Erdraums in seiner Größe und geographischen Lage[45] sowie des Maßstabs (Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007; Rinschede 2007), gefolgt von einer ersten Orientierung auf und mit der Karte (Wallert 1993; Claaßen 1997a; Lenz 2009, 2012: 197). Im Zuge der visuellen Kontaktaufnahme laufen Perzeptionsprozesse ab, die z.T. denen im Ablaufschema nach Weidenmann (Kapitel 2.4.4.2) entsprechen: Die Vielfalt der graphisch-verbal repräsentierten Informationen wird Verarbeitungsprozessen unterworfen, bei denen u.a. die Gestaltgesetze wirken und graphische Entitäten mit distinkten Merkmalen (Farbe, Kontrast, Größe, Form, Helligkeit etc.) gebildet, über Gruppierungsprozesse zu größeren Entitäten, den einzelnen Kartenzeichen, zusammengefasst und voneinander abgegrenzt werden. Neben der Zeichenkomplexität spielt die Platzierung relativ zu benachbarten Zeichen sowie die Positionierung der Kartenschrift im Zeichenumfeld eine Rolle. Ferner sind Wahrnehmungsgewohnheiten und (un-)bewusste Fragestellungen an die Zeichen relevant (Wastl 2000; Domnick 2004; Diekmann-Boubaker 2010).

Auf die Erfassung und Differenzierung der Zeichen folgt deren Decodierung, d.h. die Erschließung der Bedeutung der einzelnen Signaturen auf semantischer Ebene. Hierfür ist ein adäquates deklaratives wie prozedurales Kartenwissen notwendig (Wallert 1993; Claaßen 1997a; Maier 1998; Montello 1998; Schmaucks 1998; Wastl 2000; Domnick 2004; Herzig et al. 2007; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007, 2008, 2010; Albertz 2009; Lenz 2009; Diekmann-Boubaker 2010; Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 150; Kaminske 2012):

- *Deklaratives Kartenwissen*: Impliziert u.a. Wissen über die Entstehungsgrundlagen und die daraus resultierenden Karteneigenschaften. Von zentraler Bedeutung ist semiotisches Wissen (Graphik-Schemata) über die Repräsentationsfunktion der graphischen Zeichen als Ausgangspunkt für ihre Decodierung (Kulhavy et al. 1993; Wallert 1993; Montello 1998; Schmaucks 1998; Domnick 2004; Diekmann-Boubaker 2010; Kaminske 2012). Hüttermann (2012a) verweist darauf, dass abstrakt-geometrische Zeichen zur Auseinandersetzung mit der Kartenlegende auffordern, wohingegen ein bildhaft-konkretes Aussehen oftmals dazu führt, *„dass man auf das Studium der Legende verzichtet: Sie verstehen sich von selbst.*“ (ebd., S. 201). Des Weiteren können Einflüsse durch implizites Wissen über die konventionelle Zeichenverwendung aus vorangegangenen Lernprozessen auftreten und die Decodierung beeinflussen[46] (Schmaucks 1998).
- *Prozedurales Kartenwissen*: Bezieht sich u.a. darauf, wie die Zeichenbedeutung mittels Kartenlegende bzw. Kartenschrift erschlossen werden kann. Während bei der Konsultation der Legende das Zeichen mit der zugehörigen Bedeutungserläuterung gedanklich verknüpft wird (Clark et al. 2008), können beim Lesen der Schrift v.a. Eigennamen wie Birkes*dorf* (als Hinweis auf eine Siedlung), Hambacher *Forst* (als Hinweis auf ein Waldgebiet) oder Lucherberger *See* (als Hinweis auf ein stehendes Gewässer) wichtige Hinweise liefern. Nach Hüttermann et al. (2010) erfolgt erst durch dieses Wissen die Befähigung zum Umgang mit Karten.

[45] Im Zuge der Bestimmung der (groben) geographischen Lage kann es bereits zu einer ersten Einordnung in bekannte Ordnungsschemata wie z.B. Klima- oder Vegetationszonen kommen (Claaßen 1997a).

[46] Da bestimmte Farben eng mit bestimmten Sachverhalten assoziiert werden, finden diese in Karten Verwendung, um den (Wieder-)Erkennungsprozess zu unterstützen (Schmaucks 1998; Kaminske 2012). Derart typische Farben sind z.B. Blau für Gewässer, Grün für Wiesen/Wälder und Rot in Anlehnung an die Dachziegel in Siedlungen. Die Farbe Weiß, die in topographischen Karten landwirtschaftliche Flächen repräsentiert, wird von Lernenden häufig übersehen und nicht als informationshaltig wahrgenommen. Aus der wiederholten Verknüpfung der Farben mit einem bestimmten Inhalt bzw. einer bestimmten Bedeutung kann eine Konditionierung resultieren, derzufolge diese Farben als grundsätzlich typische Darstellungsweise für genau diese Inhalte/Bedeutungen dauerhaft internalisiert werden. Bei Karten mit einer anderen Repräsentationsweise bzw. abweichenden Zuordnung kann dies zu falschen Schlussfolgerungen führen (Kaminske 2012).

Über die beiden o.g. Arten von Kartenwissen hinaus ist die von Kulhavy et al. (1993) und Kulhavy & Stock (1996) vorgenommene Differenzierung in allgemeines und spezifisches Kartenwissen relevant:

- *Allgemeines Kartenwissen* (*general map knowledge*): Umfasst Kartenwissen, das z.B. die Kenntnisse der Kartenkonventionen oder semiotisches Wissen betrifft. Es wird bereits im frühen Kindesalter angeeignet und geht einher mit der Entwicklung von basic map skills wie der Signaturwahrnehmung, der Unterscheidung zwischen Karten- und Realraum und der Orientierung/Navigation mittels Karte (Montello 1998; Schmaucks 1998; Wiegand 2006). Es wird davon ausgegangen, dass dieses Kartenwissen beim Lesen und Interpretieren leitend wirkt und die Entwicklung entsprechender Strategien für den Umgang mit Karten unterstützt. Wird graphische Repräsentation als kartenähnlich empfunden, laufen automatisch kognitive Prozesse ab, die das Wiederabrufen einer entsprechenden mentalen Repräsentation (kognitive Karte) in die Wege leiten. Allgemeines Kartenwissen sowie Vorerfahrungen im Umgang mit Karten haben einen Einfluss darauf, wie eine Person „*Karten wahrnimmt, was sie von ihnen behält, und wie sie dieses Wissen im Gedächtnis organisiert*“ (Montello 1998: 94). Nach Claaßen (1997b) besteht ebenso ein Einfluss darauf, wie schnell eine Karte gelesen werden kann.
- *Spezifisches Kartenwissen* (*specific map knowledge*): Die Aneignung dieses Kartenwissens erfolgt zu unterschiedlichen Graden. Es bezieht sich besonders auf das Wissen über die Spezifika der einzelnen Kartentypen wie z.B. die konkret verwendeten Zeichen und graphischen Gestaltungsmittel sowie auf die Vertrautheit mit ihrem Umgang. Die Ausprägung wird durch die Anforderungen bei der Aneignung sowie durch die Charakteristika vorangegangener Kartenanwendungen beeinflusst, weshalb es bei der neuerlichen Auseinandersetzung mit einem (subjektiv) vertrauten Kartentyp mitunter zu Befangenheit kommen kann.

Aufbauend auf den o.g. Arten von Kartenwissen sind während der Auseinandersetzung mit einer Karte metakognitive Strukturierungsprozesse aktiv, die eine gedankliche Informationsreduktion anstreben (Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010), wobei u.a. die Relevanz für eine bestimmte Fragestellung, die eigene Interessenslage oder die individuelle kognitive Leistungsfähigkeit einen Einfluss haben. Ziel ist die gedankliche Kategorisierung/Ordnung der Karteninhalte, für die gemeinsame Oberbegriffe gesucht werden (Kaminske 2012). Im Zuge der Decodierung kann es mit der Zeit gelingen, „*sich aus der Karte ein Bild der abgebildeten Wirklichkeit machen zu können*“ (Hüttermann 2001: 31). Durch die gedankliche Verknüpfung der Rauminformationen mit räumlichem Vorwissen entwickelt sich, ggf. unter Hinzunahme weiterer Informationen wie z.B. eines Fotos oder durch einen direkten Abgleich mit der Wirklichkeit, eine adäquate mentale Vorstellung (kognitive Karte) über den dargestellten Erdraum (Scholz et al. 1983; Schmaucks 1998; Seger 2001: 402; Rinschede 2007; Clark et al. 2008; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2008; Hemmer et al. 2010; Hüttermann 2012a: 194/201). Erfolgt kein Abgleich mit der Wirklichkeit bzw. keine Hinzunahme weiterer Informationen, kann gemäß Claaßen (1997a) mittels Signaturen und Kartenschrift/-legende über Assoziationsprozesse nur das typische oder individuell bekannte Aussehen der dargestellten Sachverhalte und nicht ihre im konkreten Fall vorliegende reale Erscheinung ins Gedächtnis gerufen werden (vgl. Kapitel 2.4.3.1). Ohne zusätzliche Informationen ist die aufgebaute Raumvorstellung daher (sehr) stark vom Vorwissen darüber abhängig, wie dargestellte Sachverhalte typischerweise aussehen, z.B. ein Fabrikgelände oder Steinbruch, bzw. wie sie selber bisher im Realraum wahrgenommen wurden.

Durch das chorographische/chorologische Wesen von Karten, das die gleichzeitige Verfügbarkeit aller Karteninhalte im Sinne einer räumlichen Zusammenschau ermöglicht, lassen sich quantitative und qualitative Aussagen über Anzahl, Form, Größe und Ausdehnung sowie Position, Lage, Distanz und

Verteilung der Signaturen bzw. der durch sie repräsentierten Sachverhalte tätigen (Scholz et al. 1983; Wallert 1993; Claaßen 1997a; Gaffga 1997; Schmaucks 1998; Seger 2001: 402; Hüttermann 2005, 2012a: 192; Wiegand 2006; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2008; Albertz 2009; Lenz 2009, 2012: 197; Diekmann-Boubaker 2010; Hemmer et al. 2010; Hüttermann 2012a: 192ff.; Kaminske 2012). Gemäß Kulhavy et al. (1985), Kulhavy et al. (1993) und Kulhavy & Stock (1996) werden bei der kognitiven Verarbeitung sowohl Informationen auf der Merkmalsebene (Größe, Farbe, Form etc.) als auch auf der Strukturebene (geometrische, kartometrische und topologische Informationen) im Gedächtnis ganzheitlich festgehalten (Kapitel 2.4.4.2).

Auf dem Kartenlesen baut die Karteninterpretation mit der Erklärung der Karte und ihrer Inhalte auf (Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 151). Hierbei werden auf unterschiedlichen topographischen Ebenen (Lenz 2006b: 343) anhand der vorliegenden Rauminformationen und des bereichs-/regionsspezifischen Vorwissens Zusammenhänge kausaler, genetischer bzw. funktionaler Art gedanklich hergestellt bzw. in thematischen Karten direkt an den graphischen Gestaltungsmitteln abgelesen (Scholz et al. 1983; Albertz 2009; Hemmer et al. 2010). Gemäß Schmaucks (1998) ist es vorwissensbedingt möglich, aus den decodierten Primärinformationen gedanklich weiterführende Sekundärinformationen zu erschließen. Da Erdräume in ihrem durchschnittlichen Zustand (statisch) dargestellt sind (Bär 1977; Brucker 2006b: 178), werden raumzeitliche Veränderungen, Entwicklungen und Dynamiken in thematischen Karten durch graphische Elemente bzw. durch die Visualisierung von Prozessphasen/Entwicklungsstadien angedeutet. Bei anderen Kartentypen wie z.B. topographischen Karten sind derartige Aspekte vom Rezipienten bzw. von der Rezipientin selbst gedanklich zu erschließen. Dies betrifft z.B. die Entwicklung einer Vorstellung über die Raumstruktur (räumliche Standorte, Einheiten, Verteilungen, Muster) des repräsentierten räumlichen/geographischen Systems. Durch den Kartenvergleich ist es möglich, Rückschlüsse auf rauminterne sowie über den Erdraum hinaus gehende prozessuale Abläufe, raumzeitliche Veränderungen/Dynamiken zu ziehen und sich auf diese Weise die Raumgenese mit den ursächlichen Bedingungen zu erschließen. Im Zuge der Karteninterpretation wird die mentale Vorstellung über den Erdraum auf diese Weise weiter mit Erkenntnissen angereichet und dadurch konkretisiert. Allerdings können Fehlinterpretationen, u.a. infolge mangelnden Vorwissens, auftreten (Scholz et al. 1983; Wallert 1993; Claaßen 1997a; Gaffga 1997; Schmaucks 1998; Hüttermann 2001, 2005, 2012a: 194/201; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007, 2008, 2010; Albertz 2009; Lenz 2009, 2012: 197; Rinschede 2007; Diekmann-Boubaker 2010; Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 146).

Mittels der gewonnenen Primär-/Sekundärinformationen können in der Folge bestimmte geographische Fragestellungen beantwortet (Gaffga 1997; Rinschede 2007; Lenz 2012: 197) und u.U. bedeutsame Entwicklungstendenzen zusammen mit ihren Auswirkungen und Folgen, zumindest ansatzweise, prognostiziert werden (Scholz et al. 1983; Wallert 1993; Claaßen 1997a; Gaffga 1997; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2008; Lenz 2009, 2012: 197; Diekmann-Boubaker 2010). Gegebenenfalls kann auch eine kritische Kartenreflexion folgen (Lenz 2009, 2012: 197; DGfG 2012), z.B. im Hinblick auf die Brauchbarkeit für eine bestimmte Fragestellung, die generalisierungsbedingte Unvollständigkeit oder die Wirkung der verwendeten Darstellungsweisen (Plümacher 1998: 56; Schmaucks 1998; DGfG 2012). Visuell verdeutlicht bzw. festgehalten werden die Erkenntnisse aus der Kartenauswertung schließlich in verschiedenen Repräsentationsformen (Gaffga 1997; DGfG 2012).

Die Schritte der Kartenauswertung lassen sich als einen umfassenden visuell-kognitiven Akt einer durch Kartenschrift/-legende sehr stark gesteuerten Erschließung der Karteninhalte verstehen. Aus den Primärinformationen heraus können weiterführende Gedanken mit interpretativer Wirkung einsetzen, die zu neuen Erkenntnissen (Sekundärinformationen) über die historische Genese, den aktuellen Zustand oder die potenzielle zukünftige Entwicklung führen. In diesem Zusammenhang deuten

kartendidaktische Erkenntnisse aus Untersuchungen auf eine Vielzahl von personalen wie externalen Variablen hin, die potenziell auf den Erfolg des Kartenauswertungsprozesses einwirken.

Wie die Auswertung thematischer Karten in der Untersuchung von Diekmann-Boubaker (2010) gezeigt hat, können v.a. bei fehlendem bereichsspezifischem Vorwissen oftmals nur unzureichend oder ggf. überhaupt keine kausalen/funktionalen Beziehungen bzw. Zusammenhänge, räumliche Abhängigkeiten oder raumzeitliche Veränderungen (dynamische Prozesse) abgeleitet werden. Während das Kartenlesen auf der Ebene der Signaturen (Decodierung, Orientierung) vergleichsweise gut gelingt[47], zeigen sich oftmals Probleme auf der semantischen Ebene im Bereich der gedanklichen Verknüpfung mehrerer Signaturen. Die Autorin ist in der Folge zu dem Schluss gekommen, dass thematische Karten trotz der (gegenüber anderen Kartentypen vorteilhaften) graphischen Darstellungsmittel z.T. auch bei Oberstufenschüler/innen nicht per se die Erschließung von Relationen fördern, sondern ein angemessenes bereichsspezifisches Vorwissen hierfür Voraussetzung ist (vgl. Montello 1998; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007; Clark et al. 2008). In einer Studie mit Studienanfänger/innen der Geowissenschaften offenbarten sich bei Herzig et al. (2007) nur wenige Probleme im Bereich des deklarativen Kartenwissens, insbesondere dann nicht, wenn die Kartenlegende adäquat genutzt wurde. Allerdings erwiesen sich das Spektrum und die Darstellungsweise in thematischen Karten als ein größeres Problem, was die Autoren wie folgt interpretieren:

> „*Dass sich die thematische Kartographie keines konventionellen Zeichensystems bedient, scheint wenig bekannt zu sein. Vermutlich dachten die Probanden an den einzigen Atlas, den sie besitzen (Schulatlas; siehe oben) und nehmen die ihnen vertrauten Signaturen als verbindliche Gestaltungsmittel an.*“ (Herzig et al. 2007: 323).

Des Weiteren hat sich auch bei dieser Studie das Erkennen prozessualer/kausaler Beziehungen als eine mitunter hohe Anforderung an das individuelle kognitive Vermögen herausgestellt.

Bei Diekmann-Boubaker (2010) erwies sich bei älteren Lernenden zudem die Integration des repräsentierten Erdraums in größere geographische Zusammenhänge sowie in bestehende mentale Modelle z.T. als problematisch. Bei Herzig et al. (2007) gelang den Proband/innen das Umdenken von der Zweidimensionalität der Karte in die Dreidimensionalität der Wirklichkeit nur gut bis befriedigend.

Zusätzlich zu den bisher erwähnten Aspekten sind aus der Sicht von Wastl (2000) die folgenden personalen Einflüsse bedeutsam, deren Wirksamkeit dem Autor zufolge eher bis weitestgehend anerkannt sind: die allgemeine Erfahrung im Kartenlesen bzw. die Vertrautheit im Umgang mit Karten, die vorgefasste Meinung bzw. subjektive Einschätzung in Bezug auf Karten sowie etwaiges regionsspezifisches Vorwissen, d.h. Ortskenntnisse im Sinne eines Knoten-, Strecken- bzw. Überblickwissens. In Verbindung mit der Erfahrung/Vertrautheit ist das Selbstkonzept bezogen auf die Kartenauswertung relevant, wohingegen mit Blick auf die vorgefasste Meinung bzw. subjektive Einschätzung das grundsätzliche Interesse an bzw. die Beliebtheit von Karten als eine weitere einflussreiche personale Variable gesehen wird (Herzig et al. 2007; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010). Eine ausgeprägte räumliche Intelligenz bzw. ein ausgeprägtes räumliches Denken führen Ishikawa & Kastens (2005), Clark et al. (2008), Diekmann-Boubaker (2010), Hemmer et al. (2010) und Hemmer et al. (2012) als weiteren Faktor an. Ferner sind individuelle kognitive Verarbeitungskapazitäten und metakognitive Selektionsprozesse (nach Relevanz für die Fragestellung oder Interessenslage) sowie die

[47] Dennoch zeigten Lernende nahezu aller Klassenstufen Defizite bei der vorwissensbedingten Zuordnung von (v.a. abstrakteren) Signaturen zu Oberbegriffen bzw. interpretierten Begriffe in der Kartenlegende falsch. In Bezug auf die Verwendung abstrakter Symbole und den Einsatz von Abkürzungen, Ziffern etc. verweist Bär (1977) auf die Notwendigkeit zu einem individuell hohen Abstraktionsvermögen.

Beherrschung von Strukturierungsprozessen wie gedanklichen Kategorisierungen, Ordnungen bzw. die Suche nach gemeinsamen Oberbegriffen relevant (Kulhavy & Stock 1996; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010; Kaminske 2012). Nach Lenz (2009) sind *Mathematische Kompetenz* (bezogen auf den Umgang mit Zahlenangaben wie Maßstab, Koordinaten etc.), *Orientierungskompetenz* (bezogen auf die Einordnung des Erdraums in größere räumliche Kontexte, die Erkennung von Lagebeziehungen oder die Erfassung der realen Größe des Erdraums), *Bewertungskompetenz* (im Sinne der Reflexion manipulatorischer Absichten und der Beurteilung von Gestaltungsmerkmalen) sowie *Versprachlichungskompetenz* (das Wahrgenommene sprachlich angemessen ausdrücken können) erforderlich. Letztere hat sich bei Dickmann & Diekmann-Boubaker (2010) und Diekmann-Boubaker (2010) ebenfalls als eine wichtige Variable erwiesen. Alter und Geschlecht stellen schließlich weitere relevante personale Variablen dar (Kulhavy & Stock 1996; Herzig et al. 2007; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010).

Neben den personalen sind zudem externale Variablen wirksam, die mit der Karte selbst in Verbindung stehen. Dies betrifft z.B. die inhaltlich-strukturelle Komplexität und Signaturendichte, die Klarheit der Legende bzw. die Kohärenz zwischen Karte und Legende sowie graphische Gestaltungsaspekte wie die Bedeutung von Pfeillängen/-verläufen (Wastl 2000; Wiegand 2006; Clark et al. 2008; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010; Diekmann-Boubaker 2010). Die Untersuchung von Diekmann-Boubaker (2010) hat überdies gezeigt, dass die Erschließung raumzeitlicher Prozesse, Veränderungen und Entwicklungen mittels parallel vorliegender Karten wegen der graphischen Entlastung sowie der besseren Vorwissensanknüpfung weniger Schwierigkeiten bereitet (hat) als die Analyse von komplexeren integrierenden Darstellungen. Der Autorin zufolge übt das Anspruchsniveau bzw. die Kompetenzstufe von Aufgaben[48] als Variable der Lernsituation einen größeren Einfluss aus (vgl. Kulhavy & Stock 1996; Wastl 2000; Wiegand 2006; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010). Als weitere externe Faktoren gelten nach Diekmann-Boubaker (2010) die Kohärenz/Kongruenz zwischen Aufgabenstellung und Legende, die mediale Aufbereitung (analog oder digital) und das situationale Interesse an der Kartenarbeit. Zudem ist nach Wastl (2000) der Zeitrahmen für die Kartenauswertung bedeutsam.

2.4.4 Die Sicht der Bildwissenschaft und Kognitionspsychologie

Aus der Sicht der Bildwissenschaft lassen sich Luft- und Satellitenbilder wie topographische Karten bestimmten Bildkategorien zuordnen, die spezifische Attribute und Charakteristika besitzen und jeweils eigene Anforderungen an das Lesen und Verstehen der in ihnen visualisierten Informationen stellen (Kapitel 2.4.4.1). Die darauf aufbauenden bildwissenschaftlichen/kognitionspsychologischen Erkenntnisse über die kognitive Informationsverarbeitung werden in Kapitel 2.4.4.2 vorgestellt, um im weiteren Verlauf dieser Arbeit potenzielle Gemeinsamkeiten/Unterschiede identifizieren zu können.

2.4.4.1 Wesen, Eigenschaften und Kategorien von Bildern

In der Bildwissenschaft werden verschiedene Symbolsysteme für die Informationskommunikation unterschieden: das numerische (Zahlen), das verbale (Schrift/Sprache) und das piktorale (bildliche) Codierungsformat. Informationsträger, die letzteres Format verwenden, werden gemeinhin als Bilder

[48] In Bezug auf die Aufgabenstellung gehen Kulhavy & Stock (1996) von einem konkreten Einfluss auf die bei der Kartenarbeit entwickelte mentale Repräsentation aus: die Zielsetzung wirkt sich v.a. darauf aus, wie sehr die Repräsentation dem wahrgenommenen Karteninhalt ähnelt. Als Faktoren der Aufgabenstellung sehen die Autoren den Inhalt der Instruktionen (vgl. Kulhavy et al. 1993; Wiegand 2006; Wastl 2000), methodologische Aspekte wie wiederholtes Kartenlernen bzw. wiederholte Erinnerungsversuche, die Erwartungen der Lernenden an die von ihnen zu erbringenden Leistungen im Sinne notwendiger Lösungsschritte (vgl. Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010) sowie subtile Hinweise zu den Voraussetzungen für die Aufgabenerfüllung.

bezeichnet. Ihre große Bandbreite ist von Weidenmann (1988, 1991a, 1991b, 1994, 1998, 2002, 2004a, 2004b, 2006) entlang eines Kontinuums in zwei Haupt- und eine intermediäre Kategorie unterteilt worden (Abbildung 10).

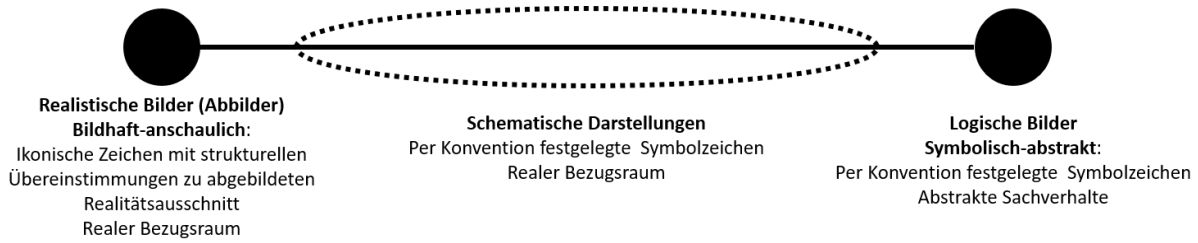


Abbildung 10: Kontinuum verschiedener Bildkategorien (eigene Darstellung)

Die Einteilung des Autors, die mehr oder weniger mit den Gliederungen anderer Autor/innen (vgl. u.a. Schnotz 1994, 2001, 2002, 2006; Ballstaedt 1997; Schnotz & Bannert 1999; Clark et al. 2008; Röhl o.J.) übereinstimmt, geht von den spezifischen Attributen jeder Kategorie aus:

- *Realistische Bilder* (*Abbilder*): Diese Hauptkategorie weist nach Weidenmann ein Repräsentationssystem auf, das auf ikonischen Zeichen basiert, die mit jenen Sachverhalten gemeinsame Strukturmerkmale und -eigenschaften aufweisen, die sie im piktoralen Format repräsentierten (vgl. Ballstaedt 1997; Schnotz 2002: 66, 2006: 853f.). Diese strukturellen Übereinstimmungen bedingen eine hohe visuelle Ähnlichkeit (vgl. Schnotz 2002: 65f., 2006: 853), weshalb Bilder dieser Kategorie als Abbilder (vgl. Röhl o.J.) bzw. als ein reduzierter optischer Ersatz eines konkreten Realitätsausschnitts (Ballstaedt 1997) bezeichnet werden. Nach Röhl (o.J.) bestehen die Gemeinsamkeiten darin, „*dass beide beim Betrachter das gleiche Wahrnehmungsmodell*“ (ebd., S. 2) hervorrufen. Für das Verständnis ikonischer Zeichen ist kein tieferes bereichsspezifisches Wissen erforderlich, weil auf semantischer Ebene eine Verbindung zu ökologischen Schemata aus der alltäglichen Wahrnehmung hergestellt werden kann (vgl. Schnotz 1994: 122f.; 2001, 2002: 71f., 2006: 858; Schnotz & Bannert 1999; Clark et al. 2008). Nach Weidenmann gehören Fotos und naturalistische Gemälde) sowie Cartoons und Piktogramme in diese Kategorie (vgl. Ballstaedt 1997; Schnotz 2001, 2002: 65, 2006: 853), während Analogiebilder[49] dem Autor zufolge einen Sonderfall darstellen. Röntgenbilder, Infrarotbilder oder Falschfarbensatellitenbilder, deren Entstehung (z.T.) auf elektromagnetischer Strahlung jenseits der Wahrnehmung des menschlichen Auges beruht, bilden nach Röhl (o.J.) die Subkategorie der hyperrealistischen Bilder, die auch fiktionale Inhalte zum Gegenstand haben kann. Ausgehend von den in Kapitel 2.4.2.1 dargestellten Attributen von Luft- und Satellitenbildern, wie sie in der Fernerkundung/-sdidaktik beschrieben sind (vgl. u.a. Scholz et al. 1983; Hildebrandt 1996; Reuschenbach 2007; Albertz 2009; Kaminske 2012), handelt es sich bei diesen um realistische Bilder, d.h. um Abbilder der Wirklichkeit.
- *Logische Bilder*: Bei dieser Hauptkategorie ist die Art und Weise der Darstellung des zugrundeliegenden Sachverhalts in hohem Maße konventionalisiert, d.h. es kommen arbiträre Zeichen (Symbole) zum Einsatz, deren Verwendung und Interpretation per Konvention festgelegt sind. Seitens des Rezipienten bzw. der Rezipientin spezifisches Symbolwissen über die hinter ihnen

[49] Analogiebilder stellen einen Sachverhalt sehr realistisch dar (Issing 1994: 153), stehen jedoch „*in einer Analogie zum eigentlich Gemeinten*“ (Schnotz 2006: 853) und haben demzufolge eine „*analoge bzw. metaphorische Bedeutung*, *die über das Dargestellte hinausgeht*“ (Issing 1994: 153). Bei ihrer Analyse ist der Rezipient bzw. die Rezipientin dazu gezwungen, Bedeutungszusammenhänge zu erfassen und auf „*nicht direkt dargestellte, aber intendierte Sachverhalte* [zu; Anm. des Autors] *übetragen*“ (Issing 1994: 153).

stehenden Konzepte (Graphik-Schemata) erforderlich, um die Analogierelation zu dekonstruieren (vgl. Schnotz 1994: 122f.; 2001, 2002: 71f., 2006: 858; Schnotz & Bannert 1999; Clark et al. 2008). Logische Bilder repräsentieren keinen konkreten Realitätsausschnitt, sondern geben abstrakte Sachverhalte wieder (Schnotz 2001, 2006: 853). Weidenmann zählt die verschiedenen Diagrammtypen zu dieser Kategorie (vgl. Ballstaedt 1997; Schnotz 2002: 66, 2006: 853). Im Rahmen von Struktur-/Flussdiagrammen erfolgt ein Übergang zu graphischen Strukturierungshilfen wie z.B. Mind Maps oder CMs, die von Ballstaedt (1997) als überblickgebende Charts für nicht sichtbare Zusammenhänge bezeichnet werden. In der Kartendidaktik weist Diekmann-Boubaker (2010) thematische Karten der Kategorie der logischen Bilder zu, da in ihnen Diagramme und andere graphisch abstrakte Elemente zum Einsatz kommen.

- *Schematische Darstellungen*: Bilder dieser Kategorie nehmen nach Weidenmann eine intermediäre Stellung ein, da sie einerseits wie realistische Bilder einen konkreten Realitätsausschnitt visualisieren, während sie andererseits wie logische Bilder per Konvention festgelegte Symbole zur Repräsentation verwenden. Sie sind anders zu lesen als realistische Bilder, weil sie den Besitz von Graphik-Schemata erfordern. Nach Ballstaedt (1997) geben sie einen konkreten Realitätsausschnitt abstrakt wieder: obschon die Realität symbolhaft dargestellt ist, werden die topologischen Beziehungen originalgetreu repräsentiert. Weidenmann ordnet dieser Kategorie technische Zeichnungen, Schaltpläne und auch Karten allgemein zu (vgl. diesbezüglich in der Kartographie die Deskriptionen von Scholz et al. 1983; Albertz 2009). Ballstaedt (1997) bezeichnet erstere als eine Art linienhaft dargestellte Abbilder und weist Zweitere einer nicht näher spezifizierten Kategorie zu, die den schematischen Darstellungen von Weidenmann entspricht. Schnotz (2001, 2002:65, 2006: 853) hingegen sieht Zeichnungen und Karten als realistische Bilder (Abbilder). Diese Zuordnung wird in der Kartographie von Kaminske (2012) bzw. in der Kartendidaktik von Hüttermann (2005, 2012a: 192) und Gryl et al. (2010) geteilt.

2.4.4.2 Kognitive Verarbeitung von Bildern und Text-Bild-Kombinationen

Erkenntnisse über die kognitive Verarbeitung von piktoralen Informationen, bei der (prä-)attentive Rezeptionsprozesse (Neisser 1979) sowie die beiden Modi des natürlichen (ökologischen) bzw. indikatorischen Bildverstehens wirken (Abbildung 11), sind von Weidenmann (1988, 1994: 27f., 2004b, 2006: 451) in einem idealtypischen Ablaufschema zusammengefasst worden.

	ökologisches Bildverstehen	***indikatorisches Bildverstehen***
prä-attentive Prozesse	Erfassen des Dargestellten "auf den ersten Blick"	Erfassen des Arguments "auf den ersten Blick"
attentive Prozesse	vollständiges Identifizieren der Bilddetails	umfassendes Extrahieren des visualisierten Arguments

Abbildung 11: An der kognitiven Verarbeitung von Bildern beteiligte Rezeptionsprozesse und Bildverstehensmodi (Weidenmann 1994)

1.) *Vorphase*: Die Perzeption piktoraler Informationen erfolgt in einem situationsgebundenen kognitiven wie emotional-motivationalen Zustand, auf den individuelle Zielsetzungen und persönliche Erwartungen an die Informationen einwirken. Durch das Lesen zusätzlicher, verbaler Informatio-

nen oder durch eine Instruktion kann dieser Zustand vorab dahingehend beeinflusst werden, dass eine bestimmte Erwartung hervorgerufen und/oder bereits relevantes Vorwissen (Konzepte/ Schemata) aktiviert wird (Weidenmann 1988, 1994: 26; Domnick 2004).

2.) *Initialphase*: Beim ersten Blickkontakt laufen in Sekundenbruchteilen prä-attentive Rezeptionsprozesse ab, die einen initialen Eindruck von der Gesamtheit der unsortierten Reizinformationen vermitteln (Weidenmann 1994: 31; Lewalter 1997; Scholz 1998: 108f.; Domnick 2004). Mit den ersten gezielten Blicken setzen dann Fokussierungen auf einzelne Bilddetails ein; nach Kaminske (2012) wird dabei „*Ungewöhnliches* […] *besser wahrgenommen als Alltägliches*" (ebd., S. 181). In der prä-attentiven Phase des natürlichen Bildverstehens führen informationsgeleitete bottom-up-Prozesse zur (Wieder-)Erkennung von leicht erkennbaren Bildinhalten: Unter dem Einfluss der Gestaltgesetze werden graphische Entitäten mit distinkten Merkmalen (Größe, Form, Helligkeit, Kontrast etc.) gebildet und über Musterbildungs-/Gruppierungsprozesse zu größeren Einheiten zusammengefasst. Über Assoziations-/Klassifikationsprozesse kommt es unter Einbindung von ökologischen Schemata, die aus alltäglichen Wahrnehmungen herrühren, zu Matching-Prozessen anhand (proto-)typischer Merkmale/Eigenschaften, bei denen erste Bildinhalte in bekannte Kategorien realer Sachverhalte (Objekte, Personen, Ereignisse) eingeordnet und (wieder-)erkannt werden (Weidenmann 1988, 1991b, 1994: 27f., 2006: 451; Bollmann 1992: 351; Schnotz 1993a: 151, 1994: 120f., 2002: 70ff. , 2006: 855; Lewalter 1997; Plümacher 1998: 52f.; Scholz 1998: 110ff.; Domnick 2004; Anderson 2007).

Aus der Sicht von Weidenmann wird die Auseinandersetzung mit dem Bild und seinen Inhalten angetrieben durch den Bedarf nach automatischen Normalisierungsversuchen mit dem Ziel der (Wieder-)Erkennung, die als plötzliches Erlebnis einsetzt (Weidenmann 1994: 29). Führt der erste Bildeindruck dazu, dass der Bedarf relativ zügig abnimmt, kann das Phänomen des flüchtigen Blicks auftreten (Weidenmann 1998: 249, 2004; Lewalter 1997; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 70/73, 2006: 857): Bilder werden von vielen Heranwachsenden als eine eher einfache und anspruchslose Repräsentationsform wahrgenommen, weshalb ihnen nicht die entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt wird, die nötig ist, um Bildinhalte adäquat zu erfassen. Vielmehr bleibt es, v.a. bei leicht verständlich erscheinenden Bildern (Höpel 2013: 64), oftmals bei einer oberflächlichen Auseinandersetzung, bei der Bildinhalte (vorschnell) als einfach, eindeutig und bekannt wahrgenommen werden. In der Folge kommt es häufig nach dem (Wieder-)Erkennen erster, leicht erkennbarer Bildinhalte und dem ersten Gesamteindruck zum Abbruch des Blickkontakts. Mitteilungsabsichten des Bildproduzenten bzw. Hintergründe der Bildentstehung/ -gestaltung sind dann i.d.R. nicht oder ggf. nur auf den ersten Blick (prä-attentiv) analysiert und verstanden. Zusammen mit dem Übersehen weiterer wichtiger Informationen bzw. der fehlenden Beachtung bestimmter Bildaspekte werden in der Folge mehrere oder alle Bildinhalte u.U. falsch interpretiert (Schnotz et al. 1993; Weidenmann 1991a, 1998: 249; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 70/73, 2006: 857). Das Phänomen des flüchtigen Blicks trägt bei zu bzw. geht hervor aus einer nach Schnotz (1993a) und Höpel (2013: 64) bei vielen Heranwachsenden unzureichend ausgebildeten Medienkompetenz (Maier 1998), Bildkompetenz (Höpel 2013) bzw. visual literacy (Debes 1969).

3.) *Progressionsphase*: Bildinhalte, die auf den ersten Blick schwer zu verstehen, unbekannt oder unerwartet sind, lösen einen hohen Normalisierungsbedarf aus. Durch das innere Bedürfnis, diese Bildinhalte tiefgründiger zu verstehen, kann die Auseinandersetzung mit dem Bild intensiviert werden. Als Folge der Zuweisung weiterer kognitiver Ressourcen (Aufmerksamkeit) steigt die Intensität der beteiligten Verarbeitungsprozesse und die Wahrscheinlichkeit für einen Abbruch

des Blickkontakts sinkt. Im Gegensatz zu den prä-attentiven Rezeptionsprozessen laufen die nun einsetzenden attentiven seriell und informations- wie vorwissensgeleitet, d.h. bottom-up wie top-down ab (Schnotz 1994: 122; Clark et al. 2008). Sie stehen unter dem Einfluss der vorhandenen kognitiven Strukturen und werden durch individuelle Zielsetzungen sowie durch die individuelle Verarbeitungskapazität gesteuert, die gemeinsam anforderungsrelevante, vorwissensgeleitete Selektionsprozesse einleiten (Schnotz 1994: 123, 2001, 2002: 71f., 2006: 855; Lewalter 1997). In dieser Phase kommt es unter dem Einfluss der vorangegangenen prä-attentiven Prozesse zur gezielten Extraktion von anforderungsrelevanten Bildinformationen, zu Vergleichen und Inferenzen sowie zur mentalen Verknüpfung der piktoralen mit den verbalen Informationen bei Text-Bild-Kombinationen (Weidenmann 1998: 32; Lewalter 1997). Im Rahmen von Elaborations- (inhaltliche Anreicherung, Konkretisierung, Ausarbeitung) und Reduktionsprozessen (Verallgemeinerung, Zusammenfassung, Abstraktion) setzt eine fokussierte, zielgerichtete und systematische Beschäftigung mit einzelnen Bilddetails ein, um ihren Inhalt bzw. ihre Bedeutung zu erschließen (Maier 1998; Weidenmann 2004b: 248). An dieser Stelle erfolgt nach Weidenmann der Übergang vom natürlichen zum Bildverstehen zweiter Ordnung, bei dem unter größerem kognitiven Aufwand ein umfassenderes natürliches wie indikatorisches Verständnis des Bildes (Lewalter 1997) angestrebt wird. Das indikatorische Bildverstehen zielt dabei auf die Erfassung und Rekonstruktion der Bildmitteilung ab, indem Bildinhalte/-merkmale als Indikatoren für ein visuelles bzw. bei Text-Bild-Kombinationen (zusätzlich zu verbalen Hinweisen) für ein visuell-verbales Argument herangezogen werden (Weidenmann 1994: 27ff.; Maier 1998).

Aus der Sicht von Weidenmann können das natürliche und das indikatorische Bildverstehen im Rahmen attentiver Rezeptionsprozesse umso besser gelingen, je mehr Vorwissen über die spezifischen Darstellungsweisen im Bild vorhanden ist. Führt die kognitive Auseinandersetzung dazu, dass Assoziationen zu Vorwissensbeständen bzw. über Ideen oder mentale Vorstellungen elaborative Verknüpfungen zu diesem hergestellt werden können (erhöhte Virulenz), setzen intensivere Verstehensprozesse ein, die das (Wieder-)Erkennen auch von schweren/unbekannten Bildinhalten und ihrer Beziehungen untereinander ermöglichen (Weidenmann 1994: 32; Lewalter 1997). Wie Scholz (1998) anmerkt, kann im Rahmen induktiv semantischen Lernens aufgrund des Wissens über den Inhalt bzw. die Bedeutung einer begrenzten Zeichenanzahl der semantische Gehalt anderer ikonischer Zeichen bzw. Symbole erschlossen werden. Die attentiven Prozesse führen nach Lewalter (1997) zu einer größeren Verarbeitungstiefe und zum Aufbau einer kohärenten, mit den bestehenden Wissensstrukturen intensiv verknüpften mentalen Repräsentation, die Weidenmann als ein mentales Modell mit nicht bildlichen Elementen bezeichnet. Der Autor betrachtet die Intensität der beiden Bildverstehensmodi als eine „*zentrale Variable für die Qualität der Bildverarbeitung*“ (Weidenmann 1994: 36), die besonders dann intensiv durchgeführt wird, „*wenn ein Betrachter ein Bild als herausfordernd (Normalisierungsbedarf) und anregend (Virulenz) erlebt*“ (ebd., S. 36). Der Zeitaufwand stellt dabei keinen Qualitätsindikator dar[50].

4.) *Stabilisierungsphase*: Sind die Bildinhalte weitestgehend verstanden bzw. es können keine weiteren Verbindungen zum Vorwissen mehr hergestellt werden, sinkt der Bedarf für Normalisierungsversuche und die Virulenz stabilisiert sich. Die aufgebaute mentale Repräsentation wird keinen weiteren Modifikationen mehr unterworfen und der Blickkontakt beendet.

[50] Weidenmann (1988) zufolge beschäftigen sich Expert/innen intensiver mit Bildinhalten wegen der höheren Virulenz. Bei Noviz/innen wird die Auseinandersetzung hingegen durch einen hohen Normalisierungsbedarf erzeugt und entfaltet infolge unzureichenden Vorwissens auch bei längerer Beschäftigung nicht automatisch eine lernförderliche Wirkung.

5.) *Speicherphase*: Die bei der Auseinandersetzung aufgebauten/modifizierten kognitiven Strukturen werden im Langzeitgedächtnis dauerhaft festgehalten und dem individuellen Wissen hinzugefügt. Wie Weidenmann bemerkt, hat ihre Kohärenz und Adäquatheit sowie das Ausmaß ihrer Verknüpfung mit anderen Wissensstrukturen einen Einfluss auf die Behaltens-/Erinnerungsleistung.

Aus der Sicht von Lewalter (1997) wird mit dem Ablaufschema ein theoretischer Bezugsrahmen für die Deskription von verschiedenen Formen und Intensitätsgraden der Auseinandersetzung mit Bildern aufgespannt, der als „*Beschreibung des Lernprozesses in seiner Gesamtheit als Bedingungsfaktor für die Lernleistung eingesetzt werden*“ (ebd., S. 37) kann. Im Kontext von Lehr-Lern-Prozessen werden Bildern verschiedene Funktionen zugewiesen, zu denen u.a. die Informationsgewinnung und Konstruktion einer mentalen Repräsentation gezählt werden (Weidenmann 1991b, 1994: 45f.; Schnotz 1993a; Hieber & Lenz 2007). Im Rahmen der häufig eingesetzten Text-Bild-Kombinationen ist das Verhältnis der beiden Repräsentationsformen ambivalenter Art, da Bilder „*zum Lesen hinführen und vom Lesen ablenken*“ (Weidenmann 2006: 446) können. Nach Schnotz (1993a), Schnotz et al. (1993) und Kirby (1993) können piktorale bzw. verbale Informationen gegenseitig stimulierend oder substituierend wirken: Eine stimulierende Wirkung kann dann auftreten, wenn Bilder dazu anregen, nach mehr Textinformationen über das Gesehene zu suchen bzw. wenn ein Text dazu anregt, sich mit einem Bild ausführlicher zu beschäftigen (vgl. Schnotz & Bannert 1999). In ihrer Untersuchung haben Schnotz et al. (1993) ersteren Zusammenhang bei der Verarbeitung anspruchsvollerer Bilder beobachtet, während einfachere Bilder nur zu einer oberflächlicheren Beschäftigung mit der Text-Bild-Kombination geführt haben. Gemäß Schnotz & Bannert (1999) kann diese Wirkung ebenso dann auftreten, wenn beide Repräsentationsarten als alternatives Informationsangebot wahrgenommen werden.

Für das Verständnis der (parallelen) kognitiven Verarbeitung von piktoralen und verbalen Informationen, wie sie bei Text-Bild-Kombinationen bzw. hybriden Gebilden wie z.B. Karten (vgl. Kapitel 2.4.3.1) von Bedeutung sind, werden vier bildwissenschaftliche/kognitionspsychologische Theorien und Modelle vorgestellt. Diese bauen alle auf dem im Rahmen der *dual coding theory* (Paivio 1971, 1986) erstmals erklärten Phänomen des Bildüberlegenheitseffekts, d.h. des besseren Behaltens/Erinnerns von Bildern gegenüber Wörtern auf. In seiner Theorie geht Paivio von der Annahme aus, dass verbale und nicht verbale (u.a. piktorale) Informationen in zwei separaten Gedächtnissystemen getrennt voneinander encodiert und abgespeichert werden: Während die verbalen dabei in einem digitalen Code[51] verarbeitet werden, setzt bei den piktoralen zusätzlich zur Encodierung im digitalen Code automatisch auch eine in einem analogen Code[52] ein, wodurch der o.g. Effekt zustandekommt.

[51] Als externe deskriptionale Repräsentationen beruhen Schrift/Sprache auf arbiträren Zeichen (Buchstaben/Laute), denen erst per Konvention eine bestimmte Bedeutung zukommt. Verwendung finden explizite Zeichen wie Adjektive, Verben oder Präpositionen. Im Gedächtnis werden Schrift/Sprache seriell-linear verarbeitet, sodass die entstehende interne deskriptionale mentale Repräsentation in Form von Konzepten und Propositionen entsprechenden Charakters ist: Ihr liegt ein sequentiell-digitaler Code zugrunde, der aus einer Abfolge von Einzelzeichen besteht, die selber keine Analogie zur Wirklichkeit aufweisen und erst dann einen Sinn ergeben, wenn sie zu größeren sinnstiftenden Einheiten wie z.B. den Wörtern einer hypothetischen mentalen Sprache (vgl. Kapitel 2.3.1) zusammengesetzt werden (Sinatra 1986; Weidenmann 1991b; Kulhavy et al. 1993; Ballstaedt 1997; Schnotz 1993b, 2001, 2002: 66, 2006: 853f.; Schnotz et al. 1993; Schnotz & Bannert 1999; Hasselhorn & Gold 2006).

[52] Als externe depiktionale Repräsentationen werden Bilder auf eine holistische Art und Weise kognitiv verarbeitet, wobei sie in einen ganzheitlich-analogen Code überführt werden, der eine entstehende interne depiktionale mentale Repräsentation im Sinne bildlicher Vorstellungen (mentaler Bilder) konstituiert. Die aufgebaute Repräsentation steht in einer räumlichen Analogie zum repräsentierten Sachverhalt und ist bedeutungstragend. Die Vielfalt der Informationen wird als Ganzes simultan encodiert und kann (deshalb) wieder simultan ohne kognitive Überlastung ins Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis zurückgerufen werden. Das Besondere an dieser holistic unit ist ihre Encodierung per Chunking-Prozesse als eine in sich intakte Einheit, bei der Informationen über einzelne Merkmale/Elemente und ihre strukturellen Beziehungen von der externen auf die interne Repräsentation abgebildet werden (Sinatra 1986; Kulhavy et al. 1993; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 66, 2006: 853f.; Hasselhorn & Gold 2006).

Der dualen Encodierung wird für Lernprozesse eine große Bedeutung zugeschrieben (Weidenmann 1994), die auf das Lernen mit dem hybriden Gebilde Karte übertragen werden kann. Die nachfolgend dargestellten Theorien und Modelle gehen alle von der im *sensory-semantic model* (Nelson 1979) erstmals beschriebenen Trennung zwischen der prä-semantischen Perzeption/Encodierung und der semantischen Verarbeitung (Bedeutungszuweisung) aus.

Nach dem *Mehrkomponenten-Modell* über die Funktionsweise des menschlichen Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses (Baddeley 2001; Repovš & Baddeley 2006) werden zwei getrennte kognitive Buffer für die beiden unterschiedlichen Codierungsformate angenommen, die für deren Encodierung und Speicherung zuständig sind (Abbildung 12).

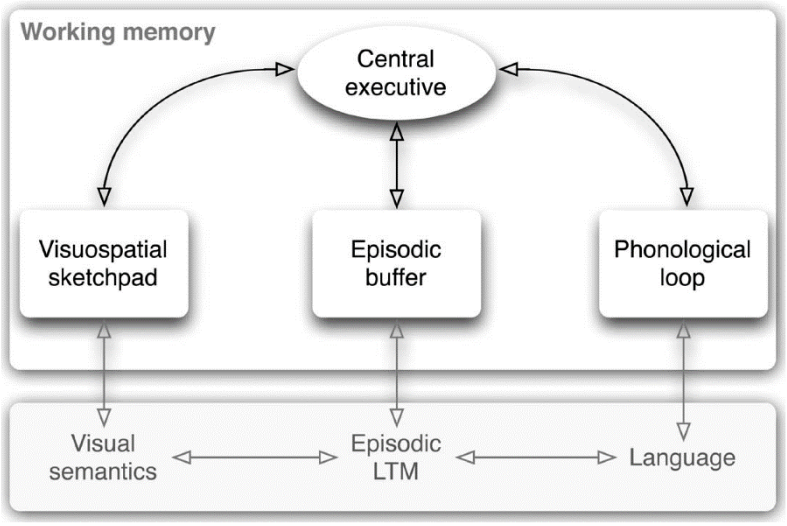


Abbildung 12: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Repovš & Baddeley (2006)

Die Zentrale Exekutive steuert die kognitive Verarbeitung der Reizinformationen durch selektive Aufmerksamkeitszuweisung. Reize werden in akustisch-verbale und visuell-räumliche unterschieden, die kognitiv spezifisch verarbeitet werden: während die Verarbeitung ersterer in einer Phonologischen Schleife erfolgt, werden letztere in einem Visuell-räumlichen Notizblock encodiert. Anschließend werden die Informationen in einem Episodischen Zwischenspeicher mit begrenzter Kapazität unter Einbindung des Langzeitgedächtnisses zu komplexeren, kohärenten mentalen Repräsentationen zusammengefügt. Angesichts der begrenzten kognitiven Kapazitäten wird eine simultane, duale Encodierung vorteilhaft gesehen. Durch tieferes, bedeutungsvolles Memorieren (Erinnern, Wiederholen) werden die Informationen schließlich im Langzeitgedächtnis festgehalten (Baddeley 2001; Repovš & Baddeley 2006).

Der *Multimodalen Gedächtnistheorie* (Engelkamp 1991, 1998: 227ff.; Hoffmann & Engelkamp 2013) zufolge werden sowohl rein sensorische als auch semantische Informationen über individuelle Erfahrungen im Episodischen Gedächtnis gespeichert. Wie bei Nelson wird ein zentrales konzeptuelles System auf semantischer Ebene von prä-semantischen sensorischen Eingangssystemen für Bilder (nicht verbales System) bzw. Schrift/Sprache (akustisches System) unterschieden; darüber hinaus werden motorische Ausgangssysteme für Schreiben/Sprechen bzw. Handlungen postuliert. Es wird ebenfalls von einem spezifischen Codierungsformat für verbale und piktorale Informationen ausgegangen. Dem piktoralen Format wird wie bei Baddeley & Kollegen ein visuell-räumlicher Charakter zugewiesen: das Visuelle Gedächtnis beinhaltet eine visuelle Komponente, die bei visuellen Reizwahr-

nehmungen sowie für die Bildung mentaler visueller Vorstellungen von Bedeutung ist, und eine räumliche Komponente, die bei der Verarbeitung von räumlich-relationalen Informationen[53] und der Bildung mentaler räumlicher Vorstellungen eine Rolle spielt (Engelkamp 1991). Bilder aktivieren im nicht verbalen Eingangssystem automatisch Bildmarken, während Schrift/Sprache im verbalen Eingangssystem Wortmarken aktiviert. Erstere verstehen Hoffmann & Engelkamp (2013) als abstrakte konstante Prozessgestalten, die die Merkmale realer Erscheinungen betrachterzentriert (perspektivisch beeinflusste Wahrnehmung) oder objektzentriert (typische Ausprägung) repräsentieren. Die Aktivierung der Marken wird in Verbindung gebracht mit den sensorischen Reizinformationen, die sich auf das Aussehen von Buchstaben, den Klang von Lauten oder das Aussehen bzw. die innere Organisation (räumliche Anordnung der Teilelemente) von Bildern beziehen. Im semantischen System werden im Anschluss daran mentale Verbindungen zwischen den aktivierten Wort-/Bildmarken und dem betreffenden Konzept hergestellt, wodurch es zur Bedeutungszuweisung kommt und die (Wieder-)Erkennung einsetzt (Abbildung 13).

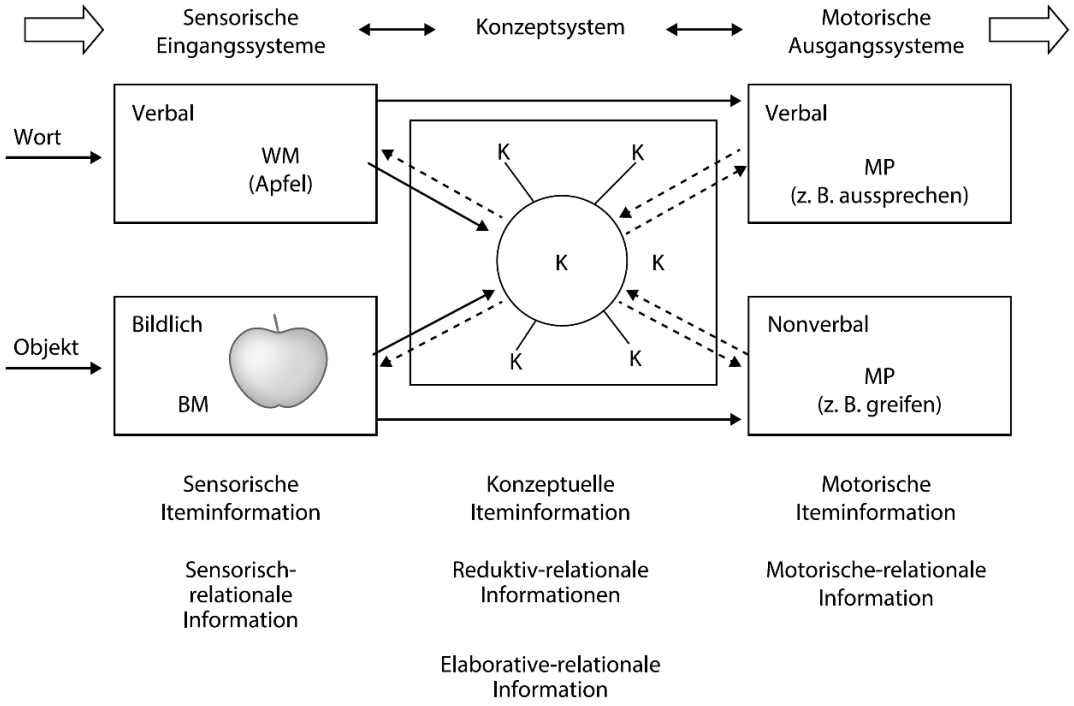


Abbildung 13: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Hoffmann & Engelkamp (2013)

Die schriftliche/sprachliche Bezeichnung kann dabei durch Aktivierung von Schreib- bzw. Sprechprogrammen erfolgen (Engelkamp 1991, 1998: 231; Hoffmann & Engelkamp 2013). Die sensorischen Informationen werden zunächst modalitätsspezifisch encodiert:

> „*Nach der multimodalen Theorie bewirkt der Anblick eines Objektes (z. B. eines Autos) nicht automatisch, dass auch seine Bezeichnung (»Auto«) enkodiert wird, wie auch umgekehrt die Wahrnehmung des Wortes »Auto« nicht automatisch das Bild eines Autos in uns aktiviert*." (Hoffmann & Engelkamp 2013: 171)

[53] Dieser Informationstyp betrifft z.B. (proto-)typische räumliche Anordnungen und wirkt als Teil von Konzepten/Schemata auf (Wieder-)Erkennungsprozesse ein, indem die Rekognition komplexer Szenen anhand globaler Merkmale ermöglicht wird. Die (wieder-)erkannte Szene bietet dann einen Rahmen für die Identifikation ihrer einzelnen Bestandteile.

Die duale Encodierung erfolgt erst durch explizite Instruktion: die Aktivierung der Wortmarken zu Bildern ist an eine Aufforderung zur mentalen Benennung und die der Bildmarken zu Schrift/Sprache an die Anregung einer visuellen Vorstellung gebunden (Engelkamp 1991; Hoffmann & Engelkamp 2013). Der Theorie nach werden „*Bilder von Objekten* […] *besser behalten als ihre Bezeichnungen*" (Hoffmann & Engelkamp 2013: 169). Als (eine) zentrale Ursache für den Bildüberlegenheitseffekt werden die Bildmarken selbst gesehen: Die bessere Behaltensleistung beruht auf ihrem sensorischen Reichtum sowie auf der Verfügbarkeit differenzierter Konzepte im semantischen Gedächtnis[54]. Dabei wird die Kombination aus piktoral-sensorischen und zugehörigen konzeptuellen Informationen als enger und behaltenswirksamer gesehen als die der verbal-sensorischen und konzeptuellen. Dieser Umstand wird auf die konzeptbegründende Funktion der piktoral-sensorischen Informationen zurückgeführt, die bei Bildmarken eine selbstgesteuerte Aktivierung konzeptueller Strukturen (Basis-Konzepte) erleichtern. Die mentale Verknüpfung bei der semantischen Encodierung erfolgt deshalb automatisch und direkt, während sie bei der verbalen erst indirekt über Assoziationsprozesse möglich wird: piktorale Informationen konstituieren Konzepte unmittelbar, während verbale nur auf sie verweisen und einen indirekten Zugang zum betreffenden Konzept ermöglichen (Engelkamp 1991, 1998: 231ff.; Hoffmann & Engelkamp 2013). Der Umweg über das semantische System wird wie folgt begründet:

> „*Erscheinungen haben also aufgrund der Vielfalt ihrer sensorischen Wirkungen einen zwar direkten, dafür aber vieldeutigen Zugang zu konzeptuellen Repräsentationen. Worte haben dagegen einen zumeist eindeutigen Zugang zu den Konzepten, die sie im gegebenen Kontext bezeichnen, aber einen vieldeutigen Bezug zu konkreten Erscheinungen: Ein Bild sagt mehr als tausend Worte, und ein Wort kann mehr als tausend Bilder bezeichnen.*" (Hoffmann & Engelkamp 2013: 103)

Die semantische Mehrdeutigkeit von Bildern lässt sich durch die semantische Eindeutigkeit von Schrift/Sprache im Zuge spezifizierender Aussagen einschränken, wodurch bestimmt werden kann, „*welche konzeptuelle Bedeutung der Erscheinung zugeordnet werden soll bzw. worauf die Aufmerksamkeit zu richten ist*" (Hoffmann & Engelkamp 2013: 103).

Die *cognitive theory of multimedia learning* (Mayer 1993, 2009) erklärt die Aneignung und Erweiterung individueller Wissensstrukturen durch multimedial präsentierte Informationen verbalen und piktoralen Formats. Sie geht davon aus, dass Sprache in einem auditiven Kanal verweilt und in diesem verarbeitet wird, sofern ihr Aufmerksamkeit gewidmet wird. Schrift, die von den Augen sensorisch registriert wird, verweilt bei Aufmerksamkeitsschenkung in einem visuellen Kanal, in dem auch die Verarbeitung von Bildern erfolgt (Abbildung 14). Informationen, auf die keine kognitiven Ressourcen gerichtet werden, verlassen das sensorische Gedächtnis nach kurzer Zeit wieder. Im Arbeitsgedächtnis werden Bilder zusammen mit Schrift im visuell-sensorischen Gedächtnisteil temporär festgehalten und als visual images encodiert. Sprache wird hingegen im auditiv-sensorischen Gedächtnisteil vorübergehend aufrechterhalten und als auditory images encodiert. Im Arbeitsgedächtnis werden die visual images einer temporär fluktuierenden visual image base, bestehend aus mehreren visual images, hinzugefügt; Gleiches gilt für die auditory images, die in eine word sound base gelangen. An dieser Stelle wird angenommen, dass der visuelle und der auditive Verarbeitungskanal miteinander in Kontakt stehen und in dem Sinne interagieren, dass sich die auditiv und die visuell perzipierten

[54] Hasselhorn & Gold (2006) merken an, dass im Langzeitgedächtnis „*eher die Bedeutungen von Textinhalten bzw. die bedeutungshaltigen Interpretationen von Bildern im Gedächtnis repräsentiert werden als die Einzelinformationen*" (ebd., S. 52). Ferner ist die erfolgreiche Speicherung von piktoralen Informationen an sinnhafte Erklärungen gebunden. Die Autoren heben damit die Bedeutung des semantischen Gehalts gegenüber der rein sensorischen Informationen hervor.

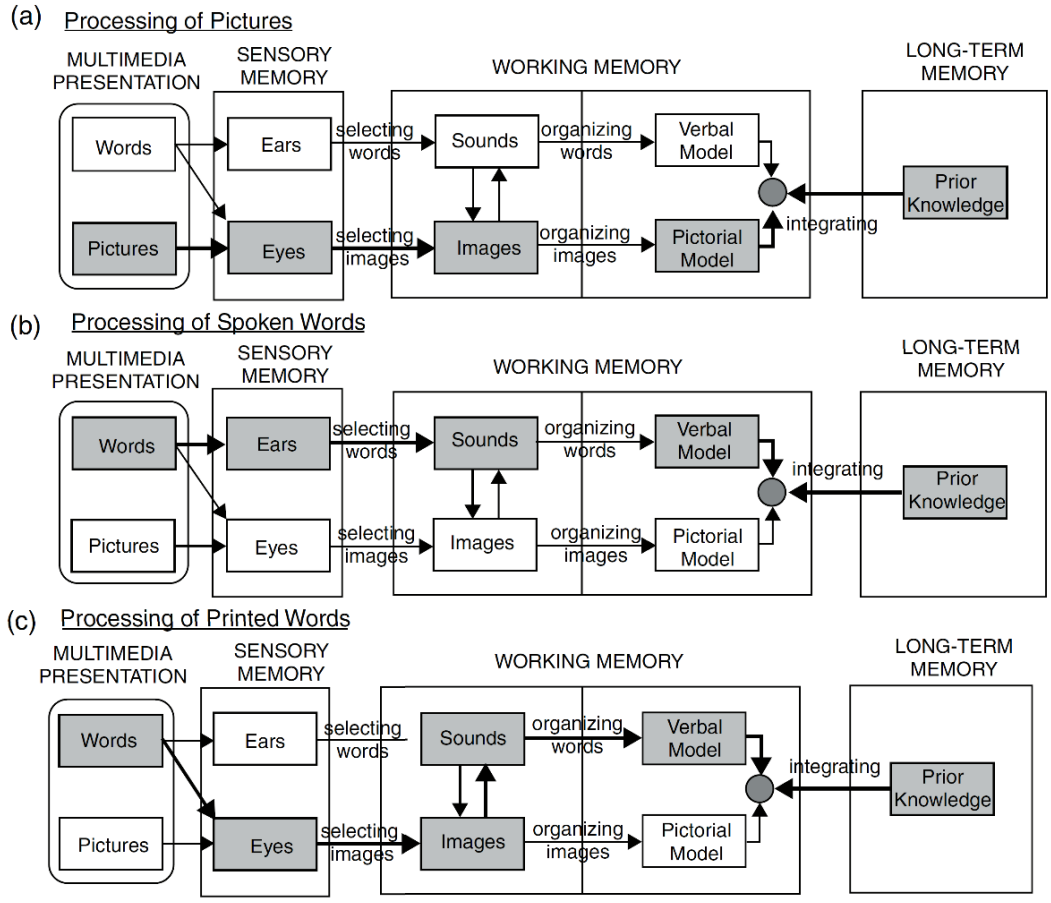


Abbildung 14: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Mayer (2009)

Informationen gegenseitig aktivieren können durch mentale Benennung des Gesehenen oder mentale visuelle Vorstellung von etwas Gehörtem. Für Schrift wird an dieser Stelle ein dauerhafter Übergang von der visual image base in die word sound base postuliert. Nach der Encodierung erfolgt im Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis die bewusste Manipulation der visual image base bzw. der word sound base durch selektive Organisationsprozesse. Mit diesem Schritt beginnt die semantische Encodierung durch die Herstellung interner Verknüpfungen zwischen den noch unzusammenhängend vorliegenden images. Es wird ein kohärentes, strukturiertes verbales mentales Modell als Repräsentation der Schrift/Sprache ausgebildet, das mit dem Aufbau entsprechender Wissensstrukturen im Gedächtnis in Verbindung steht. Durch interne Verknüpfungen zwischen den visual images in der visual image base wird in Verbindung mit dem Aufbau entsprechender Wissensstrukturen die Konstruktion eines kohärenten, strukturierten piktoralen mentalen Modells angeregt, das die Bildinformationen wiedergibt. Analog zur Theorie von Schnotz & Kollegen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass verbale und piktorale Informationen von einem qualitativen Gesichtspunkt her unterschiedlich sind, ohne diese Unterschiede näher zu spezifizieren. Zum Abschluss erfolgt durch übergreifende referenzielle Verbindungen und unter Einbindung existierender kognitiver Strukturen des Langzeitgedächtnisses die Integration des verbalen und piktoralen mentalen Modells zu einer einzigen kohärenten Gesamtrepräsentation. Diese wird im Langzeitgedächtnis dauerhaft festgehalten. Erst im Rahmen dieser finalen Zusammenführung kann der Theorie zufolge ein umfassendes Verständnis für Schrift/Sprache bzw. Bilder aufgebaut werden. Hierzu bedarf es wegen der kognitiven Ansprüche, die mit ihrer Encodierung und Integration verbunden sind, einer effizienten Nutzung der individuellen kognitiven Ressourcen. Der Autor verweist (deshalb) darauf, dass die Verarbeitung in dem Sinne sukzessiv abläuft, dass auf ein zuerst

perzipiertes Informationspaket mit kurzer zeitlicher Verzögerung das nächste folgt, wobei die verschiedenen Schritte durchaus parallel ablaufen (Mayer 1993, 2009).

Das integrierte *Modell des Text- und Bildverstehens* von Schnotz & Kollegen (Schnotz et al. 1993; Schnotz 1993b, 2001, 2002, 2006; Schnotz et al. 1993; Schnotz & Bannert 1999) unterscheidet zwei reizspezifische, visuell-kognitive Verarbeitungspfade (Abbildung 15).

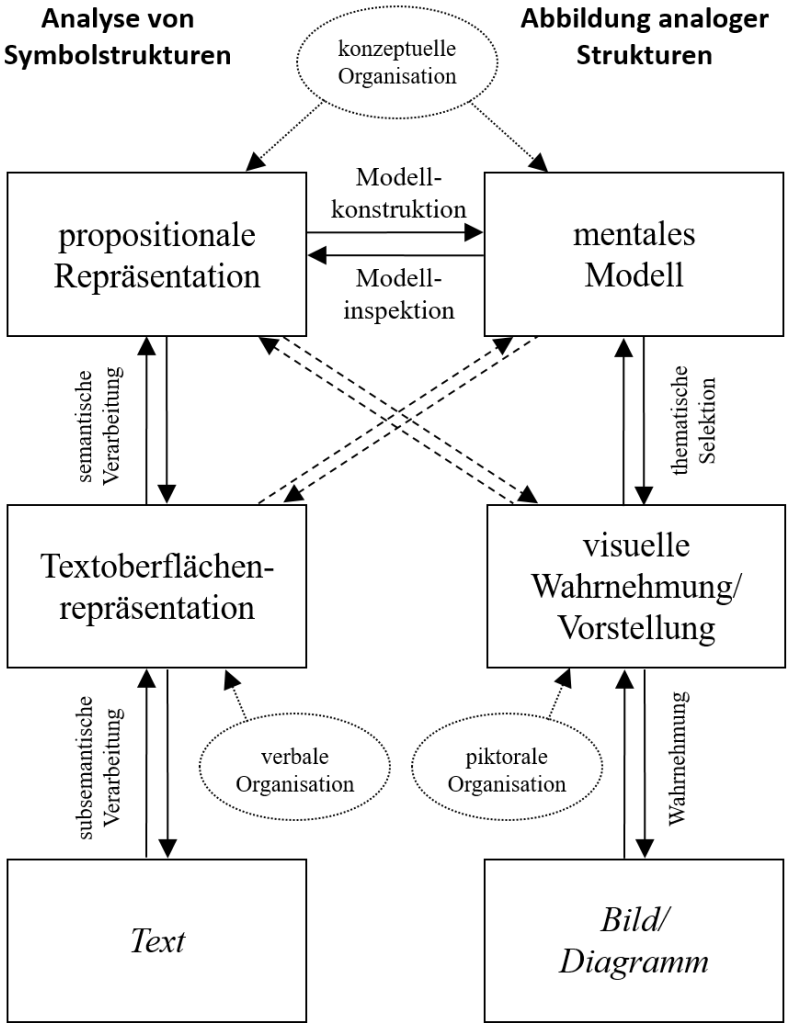


Abbildung 15: Schematische Darstellung der kognitiven Informationsverarbeitung nach Schnotz (2002)

Auf dem einen Pfad wird bei der prä-semantischen Perzeption von piktoralen Informationen (Bild/ Diagramm) eine analoge visuelle Wahrnehmung generiert, die ebenso durch eine mentale visuelle Vorstellung aus dem Vorwissen heraus erzeugt werden kann. Durch Bedeutungszuweisung (Konzept-/Schema-Aktivierung) erfolgt die analoge Abbildung struktureller Aspekte (z.B. visuell-räumliche Relationen) auf ein depiktionales mentales Modell, wobei „*wahrgenommene grafische Entitäten auf mentale Entitäten und räumliche Relationen auf semantische Relationen abgebildet werden*“ (Schnotz & Bannert 1999: 221). Das aufgebaute Modell interagiert mit einer parallel gebildeten deskriptionalen propositionalen Repräsentation, der Bildbasis, indem Informationen am Modell abgelesen und unter Einfluss von ökologischen bzw. Graphik-Schemata inspiziert und schließlich der Bildbasis hinzugefügt werden; gleichzeitig tragen propositionale Informationen der Bildbasis zur Konstruktion des mentalen Modells bei (vgl. Johnson-Laird 1995: 999). Hieraus geht eine kohärente mentale Gesamtrepräsentation hervor (Schnotz et al. 1993; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 1993b, 2001, 2002, 2006). Auf

dem anderen Pfad bildet sich bei der prä-semantischen Perzeption verbaler Informationen (Text) eine Repräsentation der Oberflächenstruktur, die Textoberflächenrepräsentation, die „*die gesamte sprachliche Information des Texts, also Formulierungen, syntaktische Konstruktionen usw.*“ (Schnotz & Bannert 1999: 219) wiedergibt. Sie dient bei der Konzept-/Schema-Aktivierung auf semantischer Ebene als Grundlage für die Entwicklung einer deskriptionalen propositionalen Repräsentation, der Textbasis, die die Bedeutungszusammenhänge von Sätzen und Textabschnitten widerspiegelt. Im Wechselspiel mit der Textbasis wird mittels Vorwissen parallel ein depiktionales mentales Modell konstruiert, das „*den im Text beschriebenen Sachverhalt in Form einer analogen Struktur*“ (Schnotz & Bannert 1999: 219) abbildet. Entgegen des direkten Aufbaus dieses Modells auf der Grundlage der visuellen Wahrnehmung bzw. Vorstellung ist der anhand der Textoberflächenrepräsentation nur indirekt über die Konstruktion der Textbasis möglich. Die beiden Pfade sind, bei „*einem Wechselspiel von auf- und absteigenden Schemaaktivationen*“ (Schnotz & Bannert 1999: 220), als „*komplementäre Wege zum Aufbau mentaler Repräsentationen*“ (ebd., S. 221) zu verstehen, deren Mehrwert nicht additiv, sondern qualitativ zu sehen ist und auf die „*unterschiedlichen, einander ergänzenden Repräsentationsprinzipien*“ (ebd., S. 221) zurückgeht. Auf beiden Pfaden sind ebenso Prozesse des indikatorischen Bildverstehens aktiv (Schnotz et al. 1993; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 1993b, 2001, 2002, 2006).

Der Vergleich von Bildern mit Schrift/Sprache zeigt die spezifischen Vorteile: Nach Weidenmann (1994: 45f.) ist es mittels Bildern einfacher, Vergleiche, Erkundungen/Entdeckungen und Strukturierungen/ Gruppierungen durchzuführen. Gemäß dem Autor können Bilder den Aufbau eines mentalen Modells grundlegend fördern bzw. ein bestehendes Modell im Zuge von (Wieder-)Erkennungsprozessen aktivieren, bestimmte Modellaspekte bildlich fokussieren und durch Visualisierung ein Modell mehr oder weniger vor Augen führen. Die Konstruktion wird besonders bei Bildern mit einem konkreten Realitätsbezug (realistische Bilder und schematische Darstellungen) ermöglicht, der geometrisch-topologische Informationen liefert. Bei realistischen Bildern kann zudem Auskunft über das konkrete Aussehen von Sachverhalten (Farbe etc.), die Beschaffenheit von Szenarien und den Ablauf von Ereignissen gegeben werden. Mittels Bildern ist die gleichzeitige Wahrnehmung von verschiedenen Veränderungen sowie logisches Denken möglich (Weidenmann 1991b, 1994: 22/45, 1998: 248, 2004b; Schnotz 1993b, 2001, 2006: 853f.; Schnotz et al. 1993; Lewalter 1997; Schnotz & Bannert 1999). Obschon die Differenz zwischen Schrift/Sprache und schematischen Darstellungen wegen der gemeinsamen Verwendung von (wenn auch unterschiedlichen) Symbolen als Repräsentationsmittel weniger groß ist als zu realistischen Bildern (Weidenmann 1991b; Scholz 1998: 105f.), stellen Bilder aus der Sicht von Weidenmann (1991b: 45) insgesamt eine effektivere Repräsentationsform für den Aufbau eines mentalen Models dar als sprachliche Beschreibungen/Erklärungen. Für Lewalter (1997) begründet sich dies darin, dass Bilder weniger umständlich und daher leichter zu verstehen sind. Demgegenüber lassen sich mittels Schrift/Sprache mehrdeutige Bildinhalte eindeutig festlegen (vgl. Engelkamp & Kollegen), komplexe Inhalte akzentuieren und logische Bilder erläutern (Weidenmann 1994: 46). Des Weiteren bestehen Vorteile hinsichtlich der Vermittlung von abstrakten Begriffen und Zusammenhängen.

Aus bildwissenschaftlicher Sicht können verschiedene personale und externaler Variablen auf die kognitive Verarbeitung von Bildern bzw. Schrift stimulierend oder hemmend einwirken.

Im Bereich der personalen Variablen führt die begrenzte Kapazität des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses zu Selektions-/Organisationsprozessen auf metakognitiver Ebene, die anforderungsrelevante Informationen herausfiltern und strukturieren (Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 72; Clark et al. 2008; Mayer 2009). Dies betrifft neben objektiven Selektionskriterien ebenso die aktuelle Zielsetzung (Lewalter 1997) sowie die „*subjektive (metakognitive) Einschätzung des Konstruktions- und*

Nutzungsaufwands“ (Schnotz & Bannert 1999: 221). Letztere führt zu einer ökonomischen Vorgehensweise, bei der „*mit wenig Aufwand eine Wissensstruktur zu konstruieren* [versucht wird; Anm. des Autors]*, die es erlaubt, aktuelle oder antizipierte Anforderungen auf einfache Weise zu bewältigen*“ (Schnotz & Bannert 1999: 221). Sind derartige Fähigkeiten/Kompetenzen im Bereich der Bildinterpretation inadäquat ausgeprägt, kann bei einer fehlenden Verarbeitungsreihenfolge der Informationsgehalt unterschätzt bzw. nicht angemessen verstanden werden und ein flüchtiger Blick einsetzen (Weidenmann 1998: 249, 2004b; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 70/73, 2006: 857). Mittels Instruktions- und Gestaltungsmaßnahmen kann nach Lowe (1993) und Schnotz (2001) eine tiefere semantische Verarbeitung (bei geringerem Vorwissen) angeregt werden (vgl. Weidenmann 1991b; Lewalter 1997; Maier 1998). Hierbei kommt den Fähigkeiten/ Kompetenzen im Bereich der visual literacy eine Bedeutung zu (Peeck 1993). Nach Lewalter (1997) impliziert dies u.a. das grundlegende Vermögen, „*die jeweils relevante Information zu erkennen, zu extrahieren, zu verarbeiten und zu speichern*“ (ebd., S. 33). Bei Text-Bild-Kombinationen sind zudem individuelle Sprachfähigkeiten einflussreich (Lewalter 1997; Schnotz & Bannert 1999). Plümacher (1998: 55) und Schnotz & Bannert (1999) identifizieren die Vertrautheit mit (den) verschiedenen Bildkategorien als eine weitere Variable. Für Lewalter (1997) und Schnotz (2001) spielt die Ausprägung der räumlichen Intelligenz bzw. des räumlichen Denkens eine Rolle. Lewalter (1997) differenziert das nötige Vorwissen, dass nach Hoffmann & Engelkamp (2013) einen starken Einfluss auf die Wahrnehmung und (Wieder-)Erkennung ausübt, wie folgt:

- *Themenspezifisches Vorwissen*: Die von Weidenmann (1991b, 1994: 49) als Weltwissen bezeichneten Kenntnisse über die in einem Bild dargestellte bzw. von ihm angesprochene Thematik wirkt auf die (prä-)attentiven Rezeptionsprozesse ein und ermöglicht vorwissensabhängige wie -unabhängige Wahrnehmungsvorgänge (Lewalter 1997). Es schafft einen Bezugsrahmen, der die Fokussierungs-/Selektionsprozesse bei der Bildverarbeitung leitet (Lewalter 1997; Hasselhorn & Gold 2006). Aus der Sicht von Plümacher (1998) wird dieses Vorwissen benötigt, um „*zu wissen, was abgebildet wird, was nicht erfaßt wird und z.B. überlagert wird*“ (ebd., S. 55). Ist es nicht in ausreichendem Maße vorhanden, kann u.U. über Analogien zu bekannten Themen auf die Thematik geschlossen werden (Lewalter 1997).

- *Darstellungsspezifisches Vorwissen*: Die von Weidenmann (1991b) als Codewissen bezeichneten Kenntnisse der Darstellungscodes, die der Einhaltung von Darstellungskonventionen bzw. kulturellen Darstellungsweisen dienen, sind v.a. im Bereich des natürlichen Bildverstehens relevant. Demgegenüber sind die Kenntnisse über Steuerungscodes, mittels derer die Bildverarbeitung gelenkt wird, für das indikatorische Bildverstehen von Bedeutung (Weidenmann 1988, 1994: 12ff./23ff., 2006: 451; Lewalter 1997). Lowe (1993) unterscheidet allgemeines visuelles Wissen im Sinne eines everyday visual knowledge, das zur adäquaten Erfassung und Differenzierung graphischer Elemente befähigt (Perzeptionsebene), und bereichsspezifisches visuelles Wissen, das zum Aufbau einer adäquaten mentalen Repräsentation anhand bereichsspezifischer Darstellungsweisen befähigt (semantische Ebene). Nach Schnotz (1993a) sind Bereichsexpert/innen im Gegensatz zu Noviz/innen in der Lage, piktorale Informationen nicht nur auf der Perzeptionsebene zu verarbeiten, sondern auch auf der semantischen adäquate Encodierungsprozesse durchzuführen. Der Autor führt dies auf die vorwiegende Konzentration von Noviz/innen auf die Verarbeitung der Bildoberfläche und einzelner Bilddetails zurück, die weniger den semantischen Gehalt (Inhalt/Bedeutung) fokussieren (vgl. Lowe 1993).

Neben den o.g. personalen Variablen sind im Kontext der Bildauswertung ferner die Motivation (Lowe 1993; Peeck 1993; Lewalter 1997), das Interesse (Lewalter 1997; Maier 1998; Weidenmann 2006: 439) und die Selbstwirksamkeitserwartung[55] (Lewalter 1997) von Bedeutung.

Im Hinblick auf externale Variablen unterscheidet Weidenmann (2002: 47) wie folgt:

- *Repräsentationsart*: Einen Einfluss üben Bildinhalte selbst aus, deren Gestaltung (Farbgebung, Kontur, Schattierung, Perspektive, Proportionen oder typische Bewegungen), Anschaulichkeit, Darstellungskomplexität, Detailgrad ebenso von Bedeutung sind wie die Einhaltung der Darstellungscodes[56]. Bei Text-Bild-Kombinationen sind ferner Vokabular, Syntax, Textkohärenz etc. bedeutsam. Der Umstand, dass Text und Bild nicht nur semantisch zueinander in Beziehung stehen und den gleichen Inhalt betreffen, sondern auch zeitlich wie räumlich koordiniert sind, sodass ihre gleichzeitige Verfügbarkeit im Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis möglich ist, bildet einen weiteren Faktor (Weidenmann 1991b, 1994: 13, 2006: 450; Lewalter 1997; Maier 1998; Schnotz & Bannert 1999; Schnotz 2001, 2002: 72, 2006: 857; Hieber et al. 2009; Mayer 2009; Ringel 2012: 181/187).
- *Anforderungssituation*: Einflüsse beziehen sich hier u.a. auf den Lernkontext, in dem Bild (und Text) präsentiert und konkrete Lernanforderungen daran gestellt werden. Der Instruktion bzw. Aufgabenstellung kommt eine zentrale Bedeutung zu, v.a. dem Steuerungsgrad von einer kleinschrittigen hin zu einer selbstständigen Arbeit unter der Verwendung methodischer Hilfestellungen (Hieber et al. 2009; Ringel 2012: 181/187), um die Aufmerksamkeit zu lenken, eine intensivere Auseinandersetzung anzuregen und die kognitive Verarbeitung zu fördern (Lowe 1993; Peeck 1993). Eine entsprechende Aufmerksamkeitslenkung/Fokussierung auf bestimmte Bildinhalte wird durch visuelle Steuerungscodes (z.B. Kontrastierung, In-den-Vordergrund-rücken), direkte Bildzeichen (u.a. Pfeile, Einrahmungen oder lupenartige Vergrößerungen) farbliche Hervorhebungen und besondere Anordnungen/Positionierungen bzw. durch Beschriftungen, Nummerierungen und (digitale) Vergrößerungen/Verkleinerungen intendiert (Weidenmann 1994: 13, 1998: 248f.; Maier 1998; Schnotz 2001, 2002: 70/74, 2006: 857). Einen ähnlich direktiven Effekt können Bildlegenden, Bildüberschriften, Begleittexte oder Kommentare hervorrufen (Schnotz 2001). Explizite Hinweise/Anweisungen mit steuernder Wirkung, wie das zeichnerische Ergänzen oder Beschriften, die Deskription von Bildinhalten oder die Beantwortung von Fragen zum Bildinhalt, kommen ebenfalls zum Einsatz (Weidenmann 1991b, 1994: 34, 2002, 2006: 450; Schnotz 2001, 2006: 858; Peeck 1993; Schnotz et al. 1993; Hoffmann & Engelkamp 2013). In Bezug auf Sachverhalte mit einer Dynamik sieht Schnotz (2001) den Einsatz von animierten Bildern dahingehend vorteilhaft, dass durch die Animation die Dynamik simuliert kann, indem ihre raumzeitliche Ausprägung veranschaulicht wird. Auf kognitiver Ebene kann dies mit der Ausbildung eines lauffähigen mentalen Modells verbunden sein, *„mit dessen Hilfe sich Veränderungen des*

[55] Das von Albert Bandura (vgl. Bandura 1977) entwickelte Konzept der Selbstwirksamkeitserwartung beschreibt die subjektive Erwartung bzw. Gewissheit, mittels eigener Fähigkeiten/Kompetenzen eine bevorstehende neue oder schwierige Anforderungssituation selbstständig erfolgreich zu meistern. Dem Konzept zufolge werden *„kognitive, motivationale, emotionale und aktionale Prozesse durch subjektive Überzeugungen gesteuert“* (Schwarzer & Jerusalem 2002: 35), die sich auf die eigene Erwartung bzw. Gewissheit, eine bevorstehende Aufgabe zu meistern, auswirken. Das Konzept ist eng verknüpft mit der Lernmotivation (Schwarzer & Jerusalem 2002) und gilt im Kontext des Einflusses früherer Lernerfahrungen auf künftige Lernprozesse als bedeutsam (Lewalter 1997).

[56] Die Gestaltung kann auf kognitiv-motivationale Aspekte einwirken, durch die die Lesbarkeit, Auswertbarkeit und Interpretierbarkeit beeinflusst werden können. Potenzielle gestalterische Einschränkungen/Mängel können auf wahrnehmungs- bzw. wissenspsychologischer oder ästhetischer Ebene auftreten (Weidenmann 2004a: 300ff.), die die Informationsentnahme beeinträchtigen und die Wirksamkeit als Informationsquelle insgesamt beeinträchtigen.

Sachverhalts in Form von mentalen Simulationen nachvollziehen lassen“ (ebd., S. 311). Damit animierte Bilder dabei nicht nur als flüchtige Reizquelle passiv wahrgenommen werden, ist es gemäß dem Autor wichtig, dass die Bildanimation angehalten werden kann, um die jeweilige graphische Konfiguration ausführlich betrachten und interpretieren zu können.

2.4.5 Zusammenfassung und Fazit

Der Einsatz von digitalen Medien im Unterricht ist mit einer Reihe positiver Wirkungen auf Lehr-Lern-Prozesse verbunden. Mit Blick auf die BNE ist der von Molitor (2014) beschriebene Einsatz als Werkzeuge zur Entdeckung, Erkundung und Erklärung der Welt von zentraler Bedeutung; dies beruht nicht zuletzt auch auf den Möglichkeiten, die sich durch die digitale Visualisierung und Modellierung (inklusive der Animation und Simulation von raumzeitlicher Dynamik) ergeben und die bei der Auseinandersetzung mit komplexen Lerninhalten der BNE den Aufbau eines Verständnisses für komplexe raumzeitliche Handlungsmuster und deren Veränderungen unterstützen können. Im Geographieunterricht kommen hierfür traditionell Karten zum Einsatz: sie dienen der Raumvisualisierung und der Erarbeitung geographischer Themen und Phänomene. In jüngerer Zeit kommen (digitale) Luft- und Satellitenbilder hinzu, deren unterrichtlicher Einsatz, ungeachtet der motivierenden Wirkung auf viele Heranwachsende, i.d.R. nicht das mit ihnen verbundene Informationspotenzial voll ausschöpft. Sowohl mit Karten als auch mit Luft- und Satellitenbildern kann eine mentale Raumvorstellung in Form einer kognitiven Überblicks-/Übersichtskarte aufgebaut werden, die ein entsprechendes räumliches Wissen repräsentiert (vgl. Kapitel 2.4.4.1).

Luft- und Satellitenbilder beruhen allgemein auf einem Entstehungsvorgang, bei dem technische Aspekte über die Bildqualität entscheiden, v.a. im Bereich der räumlichen und spektralen Auflösung. Während hochaufgelöste Bilder bei ihrer Betrachtung ein starkes Realitätsgefühl hervorrufen, ermöglichen moderat aufgelöste Bilder einen großräumigen strukturellen Überblick. Sachverhalte auf Echtfarbenbildern sind durch die gewohnte Darstellung in alltäglich wahrgenommenen Farben vergleichsweise leicht zu entschlüsseln, wohingegen Falschfarbenbilder Vorwissen über die abweichende Farbgebung sowie ein Umdenken im Farbbereich erforderlich machen. In jedem Fall ist die visuelle Bildauswertung subjektiven Charakters (vgl. Kapitel 2.4.2.1).

Karten sind demgegenüber das Resultat eines Prozesses, bei dem innerhalb bestimmter Konventionen festlegt ist, wie ein Erdraum mittels eines graphischen und verbal-numerischen Zeichensystems repräsentiert wird. Für die Kartenauswertung ist ein adäquates deklaratives, prozedurales, allgemeines und z.T. auch spezifisches Kartenwissen notwendig, mittels dessen die Signaturen über die Kartenschrift/-legende in ihrer Bedeutung eindeutig erschlossen werden können (vgl. Kapitel 2.4.3.1).

Sowohl über die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern als auch über die von topographischen Karten liegen bereits umfassende Erkenntnisse hinsichtlich der beteiligten Prozesse, die z.T. auf die in Kapitel 2.4.4.2 vorgestellten Erkenntnisse der Bildwissenschaft rekurrieren, und der dabei einwirkenden personalen und externalen Variablen vor (vgl. Kapitel 2.4.2.2 und 2.4.3.2).

Aus der Perspektive der Bildwissenschaft stellen Luft- und Satellitenbilder nach Weidenmann realistische Bilder dar, die auf ikonischen Zeichen beruhen, gemeinsame Strukturmerkmale/-eigenschaften mit dem abgebildeten Erdraum aufweisen und anhand von ökologischen Schemata verstanden werden können. Demgegenüber sind Karten laut Weidenmann schematische Darstellungen, die Symbole zur Repräsentation der in einem Erdraum vorkommenden Sachverhalte verwenden (vgl. Kapitel 2.4.4.1).

Während das Ablaufschema von Weidenmann einen Einblick in die Prozesse gibt, die bei der kognitiven Verarbeitung von Bildern auftreten, liefern die vier vorgestellten bildwissenschaftlichen/kognitionspsychologischen Theorien und Modelle Auskunft über die (parallele) kognitive Verarbeitung von piktoralen und verbalen Informationen, wie sie u.a. auch in Karten parallel vorkommen. Alle Theorien und Modelle gehen trotz differenzierter Vorstellungen von formatspezifischen Verarbeitungspfaden aus; unterstützt wird dies durch neuropsychologische Befunde (Jonindes et al. 1996) und kognitionsneurologische Untersuchungen (Vandenberghe et al. 1996). Darüber hinaus wird die prä-semantische Perzeption sensorischer Informationen von der nachgelagerten semantischen Encodierung im Rahmen der Konzept-/Schema-Aktivierung getrennt (vgl. Jonindes et al. 1996; Vandenberghe et al. 1996). Zu einer dualen Encodierung kommt es nach Engelkamp & Kollegen erst im Zuge expliziter Instruktion bzw. eigener Zielsetzungen. Die Theorie von Mayer sieht ebenso eine gegenseitige Aktivierung vor (vgl. in Bovet 2011: 225). Schnotz & Kollegen gehen formal betrachtet gleichfalls davon aus. Dies gilt implizit auch für die Theorie von Baddeley & Kollegen, da angesichts begrenzter kognitiver Ressourcen eine duale Encodierung als vorteilhaft angesehen wird. Der sich daraus ergebende Vorteil bei bzw. für die Informationsverarbeitung und den Erwerb von neuem Wissen und sein tiefgreifendes Verständnis ist in Kapitel 2.3.1 aus kognitionspsychologischer Perspektive aufgezeigt worden.

Welche Auswirkungen die Spezifika der Luft- und Satellitenbilder auf ihre eigene visuelle Auswertung im Kontext von systemischem Denken in der BNE haben, und wie sich diese im Verhältnis zu den Auswirkungen der Spezifika der topographischen Karten auf deren visuelle Auswertung verhalten, wird im weiteren Verlauf der Arbeit (Kapitel 3.3) herausgearbeitet.

3 Ableitung der Forschungsfragen/-hypothesen

In diesem Kapitel werden die zentralen Aspekte des in Kapitel 2 vorgestellten aktuellen Forschungsstandes inhaltlich-methodisch zusammengeführt. Hierzu wird in Kapitel 3.1 systemisches Denken vor dem Hintergrund der BNE betrachtet und es werden relevante Fähigkeiten systemischen Denkens im Kontext des Systems Braunkohleabbau spezifiziert. In Kapitel 3.2 stehen die Möglichkeiten zur Repräsentation dieser Fähigkeiten per Concept Mapping im Mittelpunkt. In Kapitel 3.3 wird der inhaltliche Bogen zur visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten gespannt und es werden diesbezügliche Forschungsfragen/-hypothesen abgeleitet.

3.1 Synthese 1: Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE im Kontext des Systems Braunkohleabbau

Systemisches Denken beruht auf einer systemtheoretischen Betrachtungsweise von Wirklichkeitsbereichen, die als Systeme mit spezifischen Charakteristika wahrgenommen werden, wobei ein lauffähiges mentales Systemmodell aufgebaut wird, das als Systemwissen festgehalten wird ist (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Die systemtheoretische Betrachtung speziell im Kontext der Nachhaltigkeitsthematik bzw. BNE erfordert in der inhaltlichen Dimension das Verständnis von Wirklichkeitsbereichen als ein Beziehungsgeflecht der drei ineinander verwobenen und sich wechselseitig beeinflussenden integralen Sphären Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Des Weiteren impliziert sie die Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Dimension: Beim systemischen Denken in der BNE werden Wirklichkeitsbereiche als Systeme mit spezifischen Merkmalen/Eigenschaften verstanden, deren inhaltliche (ökonomische, ökologische und gesellschaftliche) Aspekte eine bestimmte Ausprägung in Raum und Zeit besessen haben bzw. besitzen bzw. besitzen werden (Abbildung 16).

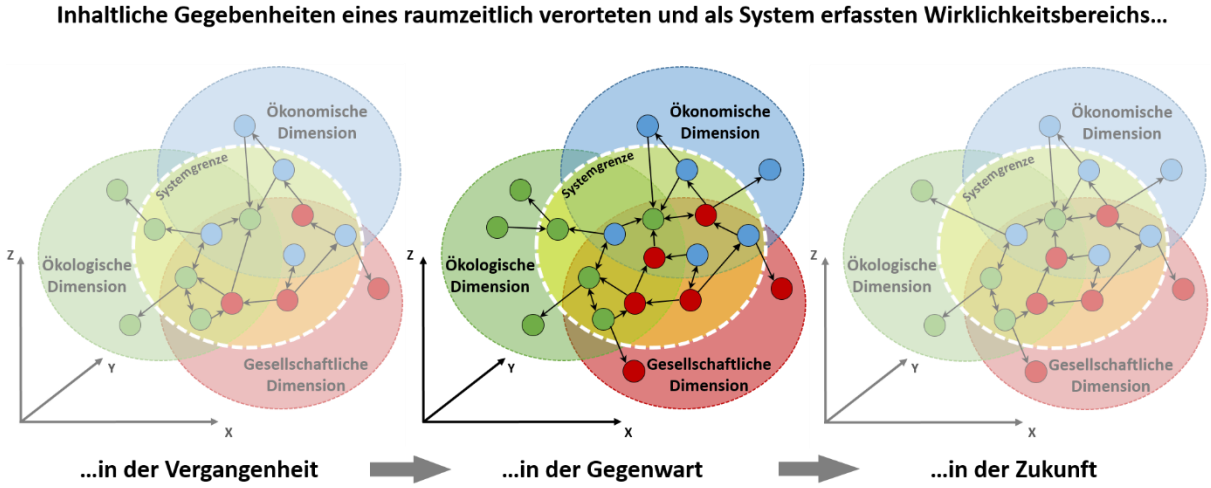


Abbildung 16: Schematische Darstellung der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Verankerung eines Systems (eigene Darstellung nach Bräutigam 2014)

Während die inhaltliche Dimension grundsätzlich als bedeutsam gilt, ist das für ein adäquates Systemverständnis wichtige Denken in der zeitlichen Dimension im Hinblick auf vergangene, aktuelle und u.U. zukünftige Gegebenheiten gleichfalls in zahlreichen Konzeptualisierungen von systemischem Denken

bzw. Systemkompetenz enthalten (vgl. Kapitel 2.2.2). Der im Kontext der BNE ebenso relevante Räumlichkeitsaspekt, der eines der beiden zentralen Charakteristika des Faches Geographie darstellt, ist ein integraler Bestandteil der Auseinandersetzung mit Mensch-Umwelt-Beziehungen im Geographieunterricht, in dem alle drei Bezugsdimensionen angesprochen werden (vgl. Kapitel 2.1.3.2).

Zur Konkretisierung von systemischem Denken in der BNE sind die Konzeptualisierungen in Kapitel 2.2.2 auf Übereinstimmungen hin miteinander verglichen worden. In diesem Rahmen ist eine Differenzierung offenkundig geworden, bei der systemanalytisch ausgerichtete kognitive Dispositionen zu unterscheiden sind von handlungsbezogenen. Nach Rempfler & Uphues (2010, 2011) sind diese beiden Kategorien aufgrund des Dilemmas von Wissen und Handeln (Wissen als Voraussetzung bzw. Produkt des Handelns) voneinander abzugrenzen. Die Autoren folgen damit u.a. der Empfehlung von Weinert (2001), nach denen Leistungs- und Handlungsdispositionen im Kontext empirischer Erhebungen voneinander getrennt erhoben werden sollten. Diese Arbeit folgt der o.g. Differenzierung und konzentriert sich auf den nicht aktionalen Bereich. In der Folge wird auch die mentale Vorbereitung auf einen handelnden Umgang mit Systemen wie die Eingriffs-/Steuerungsplanung trotz ihres kognitiven Charakters nicht berücksichtigt. Im Zentrum stehen vielmehr diejenigen kognitiven Dispositionen, die im Rahmen der Modellkonstruktion/-simulation von Bedeutung sind. Durch diese Beschränkung wird (zugleich) ausschließlich jene Komponente fokussiert, die sich besonders gut theoretisch wie empirisch (er-)fassen lässt (vgl. Kapitel 2.2.4). Da der Kompetenzbegriff mit seiner motivationalen, volitionalen, emotionalen und sozialen Facette über die rein kognitive hinausgeht (vgl. Kapitel 2.2.2), handelt es sich bei den Dispositionen um Fähigkeiten, die den kognitiven Erwerb und die mentale Anwendung von Systemwissen betreffen[57] (Rempfler & Uphues 2010, 2011).

Wie sich in Kapitel 2.2.2 gezeigt hat, weisen die systemanalytisch ausgerichteten Fähigkeiten in den Konzeptualisierungen deutliche Übereinstimmungen in der Strukturdimension auf. Aus der Prozessdimension hat sich v.a. die Fähigkeit im Bereich der Systemprozesse als übereinstimmend erwiesen, während die Identifikation des Systemverhaltens meist eher implizit enthalten ist, da sein Verständnis vielfach als eine übergeordnete Voraussetzung gesehen wird, um in Systeme adäquat einzugreifen und diese zu steuern/regulieren. Eine Betrachtung der Systementwicklung wird i.d.R. mit Aussagen über den Zustand in der Zukunft in Verbindung gebracht. Insbesondere die Beobachtung und Beschreibung des Systemverhaltens und der Systementwicklung ist von der Dynamik eines Systems abhängig und macht bei einer sehr hohen Dynamik eine computergestützte Simulation der Wirkungsweise erforderlich (Bossel 2004; Bräutigam 2014).

Um die Identifikation des Verhaltens und der Entwicklung zu ermöglichen, sind in der Vergangenheit in Forschungsstudien speziell (hochgradig) dynamische Systeme wie die Bevölkerungs- und Kapitalentwicklung (Ossimitz 2000), der Wasserabfluss aus einer Badewanne (Booth Sweeney & Sterman 2000), der globale Wasserkreislauf (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010), der globale Kohlenstoffkreislauf (Hildebrandt 2006) oder bestimmte biologische Systeme (Bräutigam 2014) wie eine Weißstorchpopulation (Sommer 2005; Sommer & Lücken 2010; Brandstädter et al. 2012) bzw. Tierpopulationen in einem Waldökosystem (Rieß & Mischo; Rieß 2013) als Betrachtungsgegenstand ausgewählt worden. Da nicht nur dynamische Wirklichkeitsbereiche systemtheoretisch betrachtet werden sollten, hat bei Systemen mit einer geringen oder keiner Dynamik eine Verhaltensbeschreibung nicht in dem Maße

[57] Bezüglich der Unterscheidung zwischen Wissenserwerb und -anwendung ist die Art der Aufgabenstellung von großer Bedeutung. Aufgaben mit Fokus auf den Wissenserwerb betreffen Formate, bei denen Informationen z.B. herauszulesen bzw. in eine andere Repräsentationsform zu überführen sind. Demgegenüber erfordern Formate mit dem Ziel der Wissensanwendung, dass anhand vorgegebener Basisinformationen und ggf. eigenem Vorwissen bestimmte Aspekte selbstständig erschlossen werden (vgl. Kapitel 2.2.4 bzw. Rempfler & Uphues 2010, 2011).

eine besondere Bedeutung, wie dies bei den (hochgradig) dynamischen mit ihrer hohen inhaltlichen bzw. raumzeitlichen Veränderlichkeit der Fall ist. Sofern keine äußeren Einflüsse eine Dynamisierung induzieren, ist für deterministische Systeme eine relativ konstante Entwicklung in der Zukunft (leicht) vorhersagbar. In diesem Sinne ist eine ausführliche Betrachtung der weiteren Entwicklung nur dann von Bedeutung, wenn Eigendynamik oder eine Dynamisierung von außen zu erwarten ist, die eine Prognose erschweren.

Vor dem Hintergrund des Forschungsinteresses wird mit der Thematik des Braunkohleabbaus und seiner Auswirkungen in ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Dimension ein ganz spezifisches System in den Blickpunkt genommen, das sich als ein komplexes[58], offenes anthropogenes System fassen lässt. Es ist in der Vergangenheit aufgrund energiepolitischer Entscheidungen (für die Energiegewinnung aus Braunkohle) entstanden. Sofern keine aus der Systemumwelt induzierten Veränderungen darauf einwirken, z.B. veränderte energiepolitische Ansichten im Kontext der aktuellen Klimawandeldebatte, die zu einer schrittweisen oder ggf. abrupten Einstellung des Abbaus und der Verstromung führen, ist davon auszugehen, dass dieses System in seiner gegenwärtigen Form gemäß den aktuellen Planungen bis in die Mitte des 21. Jahrhunderts hinein Bestand haben wird; dies entspricht dem Interesse der Branche und den aktuellen energiepolitischen Planungen. Angesichts des anthropogenen Wesens sind systeminterne Prozesse wie der Abbau im Tagebau, die Energiegewinnung im Kraftwerk oder die anschließende Rekultivierung/Renaturierung (in ihrer Art, Richtung und Geschwindigkeit) zeitlich betrachtet weitestgehend konstant ablaufende Vorgänge; dies gilt prinzipiell ebenso für notwendige Umsiedlungen mit ihren großen Vorlaufzeiten (vgl. Kapitel 2.1.4.3). Im Gegensatz zu anderen Systemen mit z.T. großen internen Dynamiken besitzt die Identifikation des Systemverhaltens und der Systementwicklung für das Gesamtverständnis des stabilen, statischen und deterministischen Systems Braunkohleabbau eine untergeordnete Bedeutung. Im Rahmen dieses Systems steht vielmehr die Wahrnehmung der Strukturdimension (Grenze, Elemente, Beziehungen, Struktur) sowie der Systemprozesse im Vordergrund. Bezüglich der Fähigkeiten systemischen Denkens liegt der Fokus daher weniger auf der Identifizierung des (konstanten) Systemverhaltens und der (konstanten) Systementwicklung, sondern konzentriert sich auf die in Tabelle 9 aufgeführten Fähigkeiten. Im Hinblick auf deren Erwerb und Anwendung sind, wie in Kapitel 2.2.3 dargestellt, eine Reihe von personalen und externalen Einflussvariablen zu berücksichtigen, die in Tabelle 10, zusammen mit jenen Variablen aus den Bereichen Wissenserwerb/-repräsentation und Nachhaltigkeit/BNE, zusammengefasst sind.

[58] Im Gegensatz zu hochkomplexen Systemen wie dem Weltklima oder der Weltwirtschaft mit ihren z.T. kontraintuitiven Systemprozessen und -verhaltensweisen handelt es sich beim Braunkohleabbau angesichts der Vielfalt der beteiligten ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekte (vgl. Kapitel 2.1.4.3) gemäß der Definition von Rieß (2013) bzw. Rieß et al. (2013: 112f.) (eher) um ein komplexes Thema (vgl. Kapitel 2.2.1).

Tabelle 9: Mit Blick auf das System Braunkohleabbau relevante Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE

In der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Dimension die Systemgrenze identifizieren: • **Inhaltliche Dimension**: Da keine scharfe inhaltliche Abgrenzung zu anderen Systemen existiert, liegen zahlreiche Inhalte vor, die subjektiv mehr oder weniger deutlich zum System gehören. • **Räumliche Dimension**: Trotz des vorwiegend lokalen Charakters sind Aspekte auf der regionalen bis nationalen Ebene von Bedeutung und die Konsequenzen auf globaler Ebene zu bedenken. • **Zeitliche Dimension**: Umfasst alle betroffenen Inhalte seit den Anfängen des Braunkohleabbaus und kann zukunftsgerichtete Aspekte wie den Umgang mit Folgen einschließen.
In der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Dimension die Systemelemente identifizieren: Betrifft eine Vielzahl von Inhalten aus allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen auf unterschiedlichen Raumebenen und mit verschiedenen zeitlichen Bezugsrahmen: z.B. Tagebau, Kraftwerk, Siedlungen, Arbeiter, Grundwasser, Wälder, landwirtschaftliche Flächen.
In der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Dimension die Beziehungen zwischen den Elementen identifizieren: Betrifft Beziehungen unterschiedlichen Charakters zwischen den verschiedenen Inhalten sowie über diese hinaus wie z.B. zwischen Tagebau und Kraftwerk, zwischen Kraftwerk und Konsumenten, zwischen rekultivierter/renaturierter Landschaft und der Lokalbevölkerung, zwischen Arbeitern und lokaler Wirtschaft oder zwischen Tagebau und Grundwasserspiegel.
In der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Dimension die Systemprozesse identifizieren: Betrifft v.a. Inhalte, die auf raumzeitlicher Ebene mit landschaftlichen Veränderungen (u.a. Verlust von landwirtschaftlichen/natürlichen Flächen, Umsiedlung) sowie mit ökologischen und sozialen Folgen (u.a. Grundwasserabsenkung, Bergschäden, CO_2-Ausstoß, mit Umsiedlungen verbundene Folgen für Anwohner wie Belastung/Stress, Heimatverlust) verbunden sind bzw. diese vermindern (Schutzmaßnahmen, Grundwassereinleitung) oder rückgängig machen (Rekultivierung/Renaturierung).
In der inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Dimension die netzwerkartige Systemstruktur identifizieren: Erfordert die Wahrnehmung des inhaltlich ausdifferenzierten und raumzeitlich verankerten netzwerkartigen Geflechts aus den Systemelementen, ihren Beziehungen und Systemprozessen innerhalb der Systemgrenze.

Tabelle 10: Einflussvariablen auf systemisches Denkens in der BNE

Personale Variablen
Im Bereich des systemischen Denkens (vgl. Kapitel 2.2.3) • Beherrschung der formalen Schritte der Systemanalyse • Bereichsspezifisches Wissen • Allgemeines kontextuelles Wissen über Systeme und die Wissensanwendung in Bezug auf sie: u.U. im Zusammenhang mit higher-order thinking skills bzw. Intelligenzaspekten wie abstraktes oder logisches Denken • Fähigkeit im Umgang mit (hoch-)komplexeren bzw. (hoch-)dynamischen Systemen • Erfahrung im Umgang mit dem Computer als Hilfsmittel bei der Analyse/Simulation • Motivation bzw. Interesse: dispositional bzw. situational • Geschlecht • Alter bzw. Klassenstufe • Schulnote Mathematik
Im Bereich des Wissenserwerbs und der Wissensrepräsentation im Gedächtnis (vgl. Kapitel 2.3.1) • Existierende kognitive Strukturen (bereichsspezifisches Vorwissen) • Elaboration und Integration neuer Informationen durch Verknüpfungen/Assoziationen
Im Bereich der BNE/Nachhaltigkeitsthematik (vgl. Kapitel 2.1.1) • Fähigkeit, in den verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen (Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft) zu denken • Fähigkeit, auf den verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen (lokal, regional und global) zu denken • Fähigkeit, in verschiedenen Zeitdimensionen (Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft) zu denken
Externale Variablen
Im Bereich des systemischen Denkens (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.3) • Komplexität des betrachteten Systems • Dynamik des betrachteten Systems • Deutlichkeit des Verlaufs der Systemgrenze • Klasse im Verhältnis zu anderen Klassen dergleichen Schule bzw. von anderen Schulen • Schulart

3.2 Synthese 2: Möglichkeit zum Rückschluss auf die Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE mittels Concept Mapping

Die mit Blick auf das System Braunkohleabbau herausgearbeiteten Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE lassen sich nicht selbst als solche unmittelbar erfassen. Wegen der Reproduzierbarkeit von Wissensbeständen ist es jedoch möglich, individuelles Systemwissen über Repräsentationsmittel wie CMs zu externalisieren und damit zu kommunizieren, sodass zu diagnostischen Zwecken ein Einblick in die jeweilige Ausprägung gewonnen werden kann (vgl. Kapitel 2.2.4). Die ausschließlich aus dem individuellen Wissen heraus konstruierten CM-Inhalte und -Strukturen zu einem spezifischen System sind ein Ausdruck des individuell bestehenden mentalen Systemmodells, an dessen initialer Konstruktion und ggf. nachfolgender Modifikation (vor der Externalisation) die einzelnen Fähigkeiten beteiligt sind. Das in der CM zum Ausdruck gebrachte Systemwissen (Systemmodell) bietet die Möglichkeit zum Rückschluss auf die vorliegende Ausprägung der Fähigkeiten, wobei personale wie externale Einflüsse zu berücksichtigen sind.

Wie in Kapitel 2.2.4 dargestellt, sind CMs und die mit ihnen verwandten Kausal-/Wirkungsdiagramme bereits als Instrument zur Diagnose von Systemwissen – und damit auch von systemischem Denken – vielfach eingesetzt worden. Ein diesbezüglich besonderes Beispiel stellt die CM-Vorlage mit vorgegebenen Begriffen zur Thematik des Braunkohleabbaus in der Zeitschrift *zeitbild wissen* (Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH 2012) dar. Auch das artverwandte Ursache-Wirkungs-Geflecht, das von Elftklässlern in der Handreichung von Zeitler (2003) konstruiert wurde, verdeutlicht die grundsätzliche Darstellbarkeit der systemischen Zusammenhänge innerhalb dieser Thematik in einer graphischen Repräsentationsform, die CMs methodisch sehr nahesteht.

Gestützt wird der Einsatz als Diagnoseinstrument durch die in Kapitel 2.3.1 geschilderte Annahme von Hoffmann & Engelkamp (2013), dass ein Zusammenhang zwischen repräsentiertem Wissen und den zugrundeliegenden kognitiven Strukturen besteht. Hieraus wird die Möglichkeit deutlich, mittels des in CMs veranschaulichten Systemwissens auf die situations-/kontextgebundene Ausprägung der bei der Wissenskonstruktion/-modifikation angewendeten Fähigkeiten zu schließen (vgl. Sommer 2005; Sommer & Lücken 2010). Bei graphisch repräsentierten Wissensstrukturen ist die Ausprägung sehr stark inhalts-/aufgabenspezifisch (Jonassen et al. 1997; Weber & Schumann 2000: 172; Ruiz-Primo et al. 2001a; Großschedl 2009). Diesbezüglich besonders relevant ist die Gegebenheit, dass die graphisch organisierte Form der Wissensrepräsentation in CMs kognitionspsychologischen Erkenntnissen über die Art und Weise der Wissensspeicherung im Gedächtnis entspricht: repräsentierte Konzepte werden über Relationen zu Propositionen als kleinsten sinngebenden Einheiten verknüpft. Durch die der Knoten-Relationen-Struktur der semantischen/propositionalen Netzwerke vergleichbare Repräsentationsweise (vgl. Kapitel 2.3.1) eignen sich CMs in besonderem Maße als Repräsentationsmittel für die strukturbezogene Wissenskomponente (vgl. Kapitel 2.3.2). Dies ist v.a. für die Diagnose der Strukturdimension von Systemen, die im Rahmen eben dieser Wissenskomponente repräsentiert wird, von großer Bedeutung (Tripto et al. 2013); sie ist in der Vergangenheit bereits über die verwandten Kausal-/Wirkungsdiagramme erfasst worden (vgl. Kapitel 2.2.4). Für die Repräsentation von Systemprozessen sind in der Vergangenheit i.d.R. andere Repräsentationsformen als CMs bevorzugt worden, da sich der Prozesscharakter in seinem Wesen und in seiner Fülle über die Knoten-Relationen-Struktur nicht in vollem Maße abbilden lässt (Tripto et al. 2013). Dies bezieht sich etwa auf die generell begrenzte Repräsentierbarkeit von quantitativen Größen in qualitativen Repräsentationsformen (Ossimitz 2000), wie z.B. CMs, in denen sich die exakte Größe zeitlicher Veränderungen (Änderungsraten) nur begrenzt darstellen lässt und für die i.d.R. Verlaufsdiagramme als Repräsentationsmittel genutzt werden (Booth Sweeney & Sterman 2000).

Trotz dieser Einschränkung können in CMs dennoch vielfältige Relationsarten repräsentiert werden, die über logisch-implikative, räumlich verortende, finale, modale oder statische Aspekte hinausgehen. Wie in Kapitel 2.3.2 gezeigt, lassen sich funktionelle wie zeitlich veränderliche Beziehungen mit prozessualem/dynamischem Charakter darin zum Ausdruck bringen. Ermöglicht wird dies durch die Verwendung geeigneter Verbindungswörter (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005):

> „*The dynamic relationship between two concepts reflects and emphasizes the propagation of change in the concepts. It shows how change in quantity, quality, or state in one concept causes change in quantity, quality, or state of the other concept in a proposition*." (Derbentseva et al. 2006: 583)

Diesbezüglich von Bedeutung sind entsprechende Begrifflichkeiten bei Konzepten, die Veränderungsprozesse repräsentieren oder andeuten: In Anlehnung an Kharatmal & Nagarjuna G. (2013: 125ff.) ist zwischen Struktur- und Prozesskonzepten zu unterscheiden, die den Ausgangs- und Endzustand eines Veränderungsprozesses repräsentieren (vgl. Kapitel 2.3.2). Neben den miteinander verbundenen Konzepten ist das Verbindungswort, das die gesamte Proposition konkretisiert, zentral: während bei den von Ossimitz (2000) als Standardwerkzeug für vernetztes Denken bezeichneten Wirkungsdiagrammen (vgl. Kapitel 2.2.4) Prozesse über Plus-/Minuszeichen angedeutet werden, kann dies bei den methodisch kompatiblen CMs verbal über Verbindungswörter wie »verstärken« bzw. »abschwächen« qualitativ oder über Ausdrücke wie »verdoppeln« bzw. »halbieren« mit einer stärker quantitativen Ausrichtung erfolgen. Des Weiteren können größere Sinnzusammenhänge über mehrere Propositionen konstruiert werden, die grundsätzlich die Darstellung von Gründen/Ursachen sowie Folgen/Auswirkungen eines Prozesses über eine Propositionskette ermöglichen. Die Repräsentation erfolgt damit im Vergleich zu anderen Repräsentationsformen auf einer allgemeineren Auskunftsebene, die keine spezifischen/detaillierten Informationen ermöglichen. Vielmehr handelt es sich um grundlegende Auskünfte darüber, dass ein Systemprozess vorliegt und wie dessen Charakter allgemein (Kreislauf etc.) bzw. der Ausgangs-/Endzustand aussieht, welche Systemmerkmale grundsätzlich darin einbezogen und welche Gründe/Ursachen bzw. Folgen/Auswirkungen damit verbunden sind. Zu beachten sind dabei personale Einflussvariablen wie z.B. die Vertrautheit mit dieser Art der Darstellung.

In CMs lässt sich ferner die Systemgrenze auf indirekte Art und Weise zum Ausdruck bringen, indem eine inhaltliche Beschränkung ausschließlich auf jene Konzepte und Relationen vorgenommen wird, die in einem unmittelbaren Zusammenhang zu dem zu repräsentierenden System stehen. Umgekehrt werden nicht zum System gehörende Aspekte nicht dargestellt.

Wie sich insgesamt zeigt, bieten CMs Möglichkeiten zur Repräsentation der in dieser Arbeit relevanten Systemmerkmale Grenze, Elemente, Beziehungen, Prozesse und Struktur. Wie präzise diese Auskünfte sind, hängt allgemein davon ab, welches System konkret Gegenstand der Repräsentation ist und welche Anforderungen an die Art und Weise der zu repräsentierenden Systeminformationen gestellt werden, z.B. ob exakte Angaben über Änderungsraten gefordert werden. Sofern qualitativ-deskriptive Aussagen genügen, die bei Bedarf um quantitative Andeutungen erweitert werden können, bietet die Methode Concept Mapping im Rahmen ihrer Knoten-Relationen-Struktur einen adäquaten Ansatzpunkt für einen Einblick in das individuelle Systemwissen. Die konkrete Art und Weise, wie sich dieses innerhalb der Darstellungskonventionen im Einzelnen repräsentieren lässt, ist in Tabelle 11 mit Blick auf die einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE dargestellt. Grundlage hierfür sind die in Kapitel 2.2.4 aufgeführten Studien über den CM-Einsatz als Diagnoseinstrument (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Sommer 2005; Sommer & Lücken 2010; Brandstädter et al. 2012; Viehrig et al. 2011; Viehrig et al. 2012; Tripto et al. 2013; Viehrig 2015).

Tabelle 11: Möglichkeiten zur Repräsentation von Systemwissen in einer CM

Fähigkeiten systemischen Denkens	Repräsentationsmöglichkeiten
Identifikation der Systemgrenze	Indirekt durch inhaltliche Beschränkung auf die Systemmerkmale
Identifikation der Systemelemente	In Form von Konzepten wie »Tagebau«, »Kraftwerk«
Identifikation der Beziehungen zwischen den Systemelementen	In Form von Propositionen wie »Tagebau - beliefert -> Kraftwerk«
Identifikation der Systemstruktur	Entspricht der Gesamtstruktur aller Konzepte und Propositionen
Identifikation der Systemprozesse	In Form von Konzepten wie »Umsiedlung« In Form von Propositionen wie »Tagebau - verdrängt -> Siedlungen«

Angesichts der sehr engen Wechselbeziehung, die Ossimitz (2000, 2002: 161) zwischen systemischen Denk- und Darstellungsformen sieht (vgl. Kapitel 2.2.4), erscheint der Einsatz von CMs nicht nur als Mittel zur Repräsentation von bereits vorhandenem Systemwissen geeignet, sondern darüber hinaus auch als Möglichkeit, seinen Erwerb im Rahmen des systemischen Denkens als solches anzuregen. Diese Annahme hängt mit der zugrundeliegenden Knoten-Relationen-Struktur zusammen, die einer systemanalytischen Denkweise entgegenkommt: Bei der Konstruktion erfolgt eine (unter-)bewusste Anregung, Konzepte mit Systemelementen und Propositionen mit Beziehungen bzw. Prozessen gleichzusetzen, wobei letztere auch als Konzepte repräsentiert werden können. Die CM als Ganzes reflektiert die wahrgenommene Systemstruktur, die durch die indirekte Setzung der Systemgrenze von der Systemumwelt getrennt wird. Insofern stellen CMs nicht nur ein Werkzeug zur Repräsentation vorhandenen Systemwissens dar, sondern bieten zugleich auch einen Impuls für systemisches Denken selbst, der mit der allgemeinen Reaktivität der Methode einhergeht (vgl. Kapitel 2.3.2.2).

Wie die Expertiseforschung zeigt, existieren Differenzen in der Elaboriertheit des Wissens zwischen Expert/innen und Noviz/innen; dies gilt v.a. im Bereich der strukturbezogenen Wissenskomponente (vgl. Kapitel 2.3.1). Auch in der Kompetenzforschung betrachten Klieme et al. (2003 in Sommer 2005: 61) eine stärkere Vernetztheit von Wissensinhalten als einen Ausdruck eine stärker ausgeprägten Kompetenz im Sinne einer höheren Kompetenzstufe. Dies korrespondiert mit empirischen Untersuchungsergebnissen von Sommer (2005) bezüglich der Existenz verschiedener Ausprägungsstufen in unterschiedlichen Bereichen systemischen Denkens. Auch die Kompetenzmodelle von Rempfler & Uphues bzw. Viehrig & Kollegen in Kapitel 2.2.2 weisen Untergliederungen in verschiedene Kompetenzausprägungsstufen auf. Um interindividuell verschieden stark ausgeprägte Fähigkeiten/Kompetenzen methodisch/instrumentell erfassen zu können, bedarf es, wie in Kapitel 2.3.1 dargelegt, einer sensitiven Erhebungstechnik, über die unterschiedlich ausgeprägtes Systemwissen externalisiert und repräsentiert werden kann. Die diesbezügliche Sensitivität von CMs ist in Kapitel 2.3.2 verdeutlicht worden.

Nach Brandstädter et al. (2012) existiert keine allgemein anerkannte Concept-Mapping-Variante, mittels derer sich Systemwissen (möglichst) optimal erfassen und diagnostizieren lässt. Es gilt somit im Rahmen einer Abwägung der in Kapitel 2.3.2.2 geschilderten Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten eine im Rahmen des Forschungsinteresses adäquate Variante auszuwählen (Kapitel 4.3.1). Dies gilt ebenso für das zu verwendende Auswertungsschema (Kapitel 4.5). Beide sollten dazu geeignet sein, einen umfangreichen, tiefgreifenden Einblick in das individuelle Systemwissen zu geben, um einen zutreffenden Rückschluss auf den Ausprägungsgrad der einzelnen Fähigkeiten zu ermöglichen. Hierfür bedarf es aussagekräftiger Auswertungsparameter, die Auskunft geben über interindividuelle Differenzen im Bereich der inhalts- und strukturbezogenen Wissenskomponente (Indikator-Funktion). Zudem sind zahlreiche Einflussvariablen bei der Erhebung und Beurteilung des repräsentierten Systemwissens bzw. den damit zusammenhängenden Fähigkeiten zu berücksichtigen (Tabelle 12).

Tabelle 12: Variablen der Repräsentation von Systemwissen in einer CM

Personale Variablen
Im Bereich der Wissensexternalisation (vgl. Kapitel 2.3.1) • Ausmaß und Struktur bereichsspezifischen Vorwissens • Individuelle Kapazität des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses • Kognitive Fähigkeit zur gleichzeitigen Verarbeitung einer größeren Anzahl von Konzepten und Propositionen im Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis • Fähigkeit zum Abruf von Wissen aus dem Langzeitgedächtnis
Im Bereich des systemischen Denkens (vgl. Kapitel 2.2.4) • Beherrschung des Umgangs mit Werkzeugen zur adäquaten Externalisation von Systemwissen
Im Bereich des Concept Mapping (vgl. Kapitel 2.3.2) • Motivation bzw. Interesse: dispositional bzw. situational • Wissen über die Methode: Theorie, Funktionsweise, Darstellungskonventionen, Nützlichkeit • Sprachfähigkeit:Versprachlichung von Gedanken/Wissen
Externale Variablen
Im Bereich des systemischen Denkens (vgl. Kapitel 2.2.1) • Komplexität des betrachteten Systems • Dynamik des betrachteten Systems • Deutlichkeit des Verlaufs der Systemgrenze
Im Bereich des Concept Mapping (vgl. Kapitel 2.3.2) • Kompatibilität des Concept Mapping mit bekannten Lernmethoden/-strategien • Konstruktion möglichst genauer Propositionen • Vorgabe oder Nichtvorgabe von Parametern: offenes vs. geschlossenes Concept Mapping • Verfügbare Konstruktionszeit • Komplexität des zu repräsentierenden Wissens

3.3 Synthese 3: Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Den kontextuellen Rahmen für systemisches Denken in der BNE stellen Themen und Fragestellungen mit unmittelbarem Bezug zur Nachhaltigkeitsthematik (vgl. Kapitel 2.1.4.1). Spezifisch für die Geographie ist der unmittelbare Bezug zu konkreten Erdräumen, in denen das räumliche Auftreten und die räumliche Dimension geographischer Sachverhalte analysiert werden. Die Auseinandersetzung erfolgt aus einer mehrdimensionalen, mehrperspektivischen Betrachtungsweise heraus, bei der die drei Nachhaltigkeitsdimensionen bzw. physisch-/humangeographische Aspekte im Vordergrund stehen (vgl. Kapitel 2.1.3.2). Dies gilt u.a. auch für die Thematik des Braunkohleabbaus, die mit zahlreichen raumbasierten Nutzungskonflikten und Fragen der Nachhaltigkeit einhergeht (vgl. Kapitel 2.1.4.3). Ihr systemischer Charakter erfordert einen systemanalytischen Ansatz, um ein angemessenes Verständnis des Systems zu erlangen. Die Konstruktion des hierfür notwendigen Systemmodells kann auf vielfältige Art und Weise und über verschiedenste Medien und Methoden angeregt werden. Wie in Kapitel 2.2.4 aufgezeigt, finden als klassische Informationsgrundlage i.d.R. verbale Repräsentationsformen Verwendung, in denen Systeminformationen vorgegeben werden. Auch graphische Darstellungsmittel, aus denen Systemmerkmale herauszulesen sind, werden häufig eingesetzt; seltener kommen mathematische Gleichungen zur Anwendung. Mit Blick auf die beiden Erstgenannten gilt dies auch für den Geographieunterricht (Rempfler & Uphues 2010, 2011).

Traditionelles Medium für die Raumanalyse und die systemische Raumerschließung im Geographieunterricht sind Karten, die in eine unmittelbare Verbindung zum Systemkonzept aufweisen:

> *„Der Inhalt kann als systemische Rauminformation verstanden werden, weil das Modell Karte Informationen über geographische Systeme enthält, die ihrerseits aus Einzel-Elementen und Relationen zwischen diesen Elementen bestehen. Die ausgewählten geographisch relevanten Elemente stehen in der Regel miteinander in (kausaler, genetischer, funktionaler) Beziehung, woraus sich der Systemcharakter ergibt. Abgebildet werden Einzelelemente, Relationen und Systeme*." (Hemmer et al. 2010: 159)

Vor dem Hintergrund des Systemkonzepts zielt die Raumerschließung mittels Karten auf die Identifikation des systemischen Charakters der repräsentierten Systemmerkmale ab (Ringel 2012: 183). Aus der systemanalytischen Perspektive heraus gilt dies ebenso für die in Luft- und Satellitenbildern per ikonische Zeichen repräsentierten Systeme. Didaktisches Ziel der Karten- wie auch der Luft- und Satellitenbildauswertung ist die Erschließung der raumbasierten Systeme als Grundlage für die Entwicklung einer möglichst getreuen mentalen Raumvorstellung in Form einer kognitiven Überblicks-/Übersichtskarte (vgl. Kapitel 2.4.1, 2.4.2.2 bzw. 2.4.3.2). Diese lässt sich nach Weidenmann (1994: 29/38) besonders gut über das räumlich-strukturelle Wesen von Informationsträgern konstruieren, die das piktorale Repräsentationsformat verwenden (vgl. Kapitel 2.4.4.1). Angesichts der strukturellen Übereinstimmung enthalten Luft- und Satellitenbilder wie auch topographische Karten jeweils quantitative und qualitative Informationen über die in ihnen repräsentierten Sachverhalte (Systeme) und ermöglichen auf der Basis geometrisch-topologischer Informationen die mentale Erschließung von inhaltlichen Zusammenhängen kausaler, genetischer bzw. funktionaler Art (vgl. Kapitel 2.4.2.2, 2.4.3.2 bzw. 2.4.4.1). Unter dem Gesichtspunkt der Systemanalyse erhält die dabei aufgebaute Raumvorstellung einen systemischen Charakter bzw. das aufgebaute Systemmodell einen räumlichen; beide werden jeweils ergänzt um die zeitliche Dimension, die konkretisiert wird durch den Aufnahmezeitpunkt bzw. Bezugszeitraum. Einen Überblick über die Möglichkeiten, Systeme in allen drei Bezugsdimensionen bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern wie auch topographischen Karten identifizieren zu können (vgl. Haspel & Jahn 2014: 59ff.; Molitor & Jahn 2014: 111ff.), gibt Tabelle 13.

Eine schematische Übersicht über die Abläufe bei der Erschließung von Primär- bis Tertiärinformationen bei der visuellen Auswertung gibt Abbildung 17.

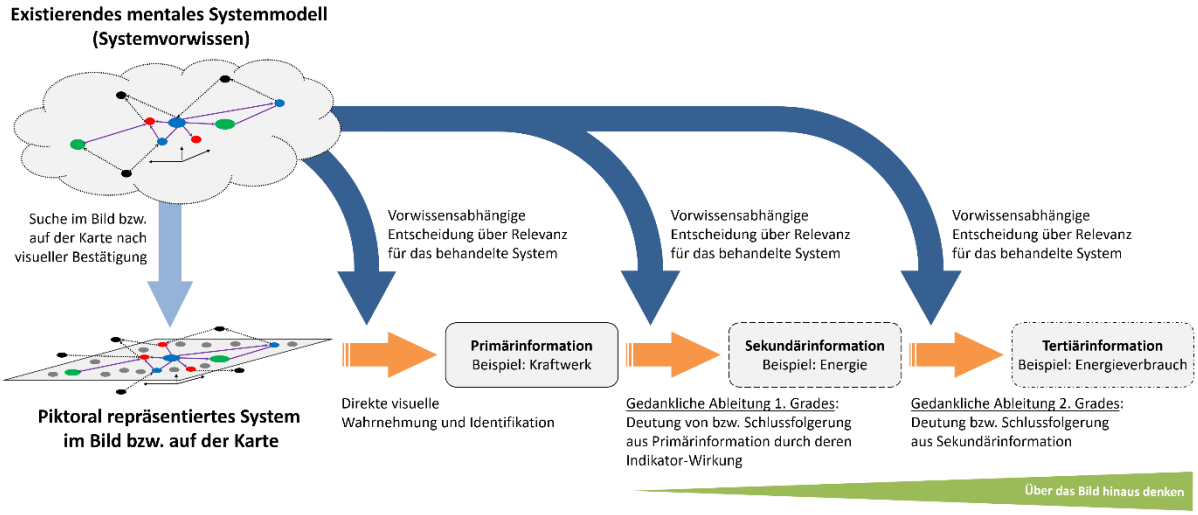


Abbildung 17: Schematische Darstellung der Erschließung von Primär- bis Tertiärinformationen bei der visuellen Auswertung (eigene Darstellung)

Tabelle 13: Möglichkeiten zur Systemidentifikation in allen drei Bezugsdimensionen bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Inhaltliche Dimension: Ökonomische, ökologische und sozi-kulturelle Dimension des Systems Integrative Betrachtung eines in einem bestimmten Erdraum vorkommenden Systems als Gesamtvernetzung aus Kulturwelt (ökonomische und gesellschaftliche Dimension) und Naturwelt (ökologische Dimension) mit seinen Merkmalen und Eigenschaften in Abgrenzung zur Systemumwelt (Aspekte im betrachteten Erdraum ohne Systembezug bzw. Erdräume außerhalb des Bildes bzw. der Karte): • **Ökologische Dimension des Systems**: z.B. Wälder, Moore, Gebirge, Küsten/Meere, Fließgewässer, stehende Gewässer, landwirtschaftliche Flächen, urbane Grünflächen • **Ökonomische Dimension des Systems**: z.B. Industrieanlagen (Fabriken, Raffinerien etc.), Gewerbegebiete, Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Eisenbahn, Häfen, Flughäfen etc.), Einrichtungen der Finanz-/Dienstleistungswirtschaft, Anlagen der Energiewirtschaft (Kraftwerke, Staudämme, Windparks etc.), Abbaustätten für die Rohstoffgewinnung (Tagebaue, Steinbrüche, Gruben etc.), Versorgungseinrichtungen (Supermärkte, Handelshöfe etc.) • **Gesellschaftliche Dimension des Systems**: z.B. Wohngebiete (Weiler bis Großstädte), Bildungseinrichtungen (Schulen, Universitäten etc.), öffentliche Einrichtungen, Denkmäler, Grenzanlagen, Friedhöfe, religiöse Einrichtungen (Kirchen, Moscheen etc.), Freizeiteinrichtungen (Parkanlagen, Schrebergärten, Sport-/Golfplätze etc.)
Räumliche Dimension: Lokale, regionale und globale Maßstabsebene des Systems Die repräsentierten Systeminformationen sind angesichts der strukturellen Übereinstimmungen zum Erdraum in diesem räumlich verortet. Der repräsentierte Erdraum lässt sich in Abhängigkeit zum Bild- bzw. Kartenmaßstab einer bestimmten räumlichen Maßstabsebene zuordnen. Da Luft- und v.a. Satellitenbilder sowie topographische Karten auf verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen verfügbar sind, können Systeme sowohl auf lokaler Maßstabsebene hinsichtlich kleinräumiger Details als auch auf nationaler bis globaler Maßstabsebene in Bezug auf großräumige Zusammenhänge und Strukturen analysiert werden. Hierzu bedarf es der Verwendung von Bildern bzw. Karten unterschiedlicher Maßstäbe.
Zeitliche Dimension: Vergangenheit, Gegenwart und ggf. Zukunft Bei einem Vergleich von Luft- und Satellitenbildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte bzw. von Karten verschiedener Bezugszeiträume lassen sich Einblicke in den Systemzustand und den seiner Merkmale/Eigenschaften in der Vergangenheit wie auch Gegenwart gewinnen. Anhand feststellbarer raumzeitlicher Veränderungen lassen sich Rückschlüsse auf die Genese des Systems im Erdraum bzw. seiner einzelnen Merkmale ziehen. Hiervon ausgehend können (je nach Bedarf) anhand bild- bzw. karteninterner Indikatoren prinzipiell auch zukunftsgerichtete Überlegungen hinsichtlich der weiteren Entwicklung angestellt werden, die sich in Entwicklungsprognosen fassen lassen.

Wie in Kapitel 2.4.2.2 bzw. 2.4.3.2 dargestellt, setzt die visuelle Auswertung in Abbildung 17 jeweils mit der Perzeption visueller Reizinformationen und der Identifizierung der Bildinhalte bzw. der Decodierung der Karteninhalte ein (Erschließung der Primärinformationen). Hierauf übt das darstellungsspezifische Vorwissen ebenso einen Einfluss aus wie das vorab existierende bereichsspezifische Systemwissen (vgl. Kapitel 2.4.2.2, 2.4.3.2 bzw. 2.4.4.2). Letzteres wird bei der Auseinandersetzung in ein Bild bzw. in eine Karte hineingetragen und leitet eine (unter-)bewusste Suche nach visuellen Anhaltspunkten (Indikatoren) darin ein, die als piktorale bzw. bei Karten auch als verbale Bestätigung dienen (hellblauer Pfeil in Abbildung 17). An die Identifizierung bzw. Decodierung können sich Kognitionsprozesse mit Deutungs-/Schlussfolgerungscharakter anschließen, die über die Bild- bzw. Karteninhalte selbst hinausgehen. Die Elaboriertheit der im Zuge einer systemanalytischen Herangehensweise aufgebauten Übersichts-/Überblickskarte mit dem daran beteiligten Systemwissen sollte dabei prinzipiell in dem Maße ansteigen, wie unter Vorwissenseinfluss auf den Primärinformationen aufbauend nicht unmittelbar visuell wahrnehmbare Sekundärinformationen erschlossen werden können (vgl. Kapitel 2.4.2.2 bzw. 2.4.3.2). In gedanklicher Weiterführung des von Jahnke (2011) ausgewiesenen Denkens über das Bild hinaus sollte es über die Sekundärinformationen hinaus möglich sein, vorwissensbedingt Tertiärinformationen zu generieren, die weder unmittelbar, noch mittelbar aus dem Medium hervorgehen. Das Ausmaß und die Intensität der Erschließung sollte in dem Maße zunehmen, wie es gelingt, im Kontext des behandelten Systems Assoziationen zum eigenen Vorwissen herzustellen.

Eine Betrachtung der Pfade, auf denen Informationen speziell zum System Braunkohleabbau bei der visuellen Auswertung angeeignet bzw. generiert werden können (orangene Pfeile in Abbildung 17), bietet die auf geographiedidaktischen Materialien zur unterrichtlichen Erarbeitung der Thematik mittels Luft- und Satellitenbildern (Jahn et al. 2010; Haspel & Jahn 2014: 65; GLO*KAL* Change, SEOS und FIS) bzw. Karten (Schacht 2009) beruhende Tabelle 14.

Tabelle 14: Pfade der kognitiven Aneignung bzw. Generierung von Informationen über das System Braunkohleabbau mittels Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Art der Informationen	Pfad der kognitiven Informationsaneignung	Beispiele im Kontext von Luft- und Satellitenbildern bzw. Karten
Bild-/karten-interne Primär-informationen	**Einzelbild/-karte**: Direkte visuelle Wahrnehmung von topographischen Sach-verhalten mit Systembezug	z.B. Tagebau, Kraftwerk, Förderband, Hochspannungsleitungen, Verkehrswege, Siedlungen, Industrie-/Gewerbegebiete, Seen, Fließ-gewässer, Waldgebiete, landwirtschaftliche Flächen
	Bild-/Kartenvergleich: Auf visuellen Wahrnehmungen beruhende Erschließung von raumzeitlichen Vorgängen mit Systembezug	• Verlust von landwirtschaftlichen sowie natürlichen Flächen wie z.B. Waldgebieten • Umsiedlungsprozesse (Auflösung alter und Entstehung neuer Siedlungen) • Rekultivierung/Renaturierung ehemaliger Tagebauflächen (Seen, landwirtschaftliche bzw. natürliche Flächen, Waldgebiete) • Umleitung von Fließgewässern bzw. Verkehrsinfrastruktur
Nicht visuell sichtbare Sekundär-informationen	**Einzelbild/-karte**: Auf Primärinformationen mit Systembezug aufbauende Denkprozesse (Wirkung als Indikatoren)	• Versorgung von Kraftwerken mit Braunkohle aus Tagebauen über Förderbandanlage/Werkseisenbahn • Energieerzeugung im Kraftwerk • Kraftwerk als Ort von Arbeitsplätzen • in Siedlungen lebende Menschen • in Waldgebieten lebende Tiere • bei Wind aufgewirbelter Staub • Grundwasserabsenkung als Voraussetzung für trockenen Abbau im Tagebau • CO_2-Ausstoß aus Kraftwerk (anhand sichtbarer Abgaswolken, auch wenn es sich hierbei um Wasserdampf handelt)
	Bild-/Kartenvergleich: Auf Primärinformationen mit Systembezug aufbauende Denkprozesse (Wirkung als Indikatoren)	• Verdrängung von Tieren durch Verlust von Waldgebieten • Beeinflussung der lokalen/regionalen Artenzusammensetzung • mit Umsiedlungen verbundene emotional-soziale Belastungen für Anwohner bzw. Möglichkeit zum Wechsel in ein neues Anwesen • Naherholungsmöglichkeiten (Badeseen, Wanderwege etc.)
Tertiär-informationen jenseits des Mediums	Auf Sekundärinformationen mit Systembezug aufbauende Denkprozesse	• klimatische Auswirkungen des CO_2-Ausstoßes • Steuerabgaben der Anwohner und Tagebau-/Kraftwerksarbeiter • Beitrag der Arbeitsplätze im Kraftwerk zur lokalen/regionalen Wirtschaftskraft • (potenzielle) gesundheitliche Belastung der Anwohner durch aufgewirbelten Staub • Energieverbrauch durch Konsumenten

Anmerkung: Gedankenschritte im Bereich der Sekundär- und Tertiärinformationen können u.U. auch individuell übersprungen werden, indem z.B. vom Kraftwerk direkt auf Klimawandel (und seine Auswirkungen) des geschlossen wird.

Bei der systemanalytischen Bild- bzw. Kartenauswertung kommt den bereits angedeuteten inhaltlichen Selektionsprozessen eine große Bedeutung zu (dunkelblaue Pfeile in Abbildung 17). In Abhängigkeit zum individuellen Systemvorwissen sind aus der Vielfalt der Primärinformationen ausschließlich

jene herauszuselektieren, die eine unmittelbare Systemrelevanz besitzen. Eine vergleichbare Fokussierung ist bei der Ableitung der Sekundär- und der daraus erschlossenen Tertiärinformationen notwendig. Mit der Entscheidung über die Systemrelevanz wird die Systemgrenze festgelegt. Gelingt die inhaltliche Beschränkung, sollte es mit der Zeit möglich sein, ein Systemmodell herauszubilden, in das die systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen in ihrem inhaltlichen Wesen und in ihrer raumzeitlichen Erscheinung integriert und zueinander in Beziehung gesetzt sind. Das aufgebaute Systemmodell lässt sich im Hinblick auf die Inhalts- und Raumdimension in Anlehnung an Kapitel 2.4.1 als eine kognitive Überblicks-/Übersichtskarte mit geometrisch-topologischen wie semantischen Informationsanteilen verstehen. Bezüglich der Zeitdimension, d.h. dem zeitlichen Systemverständnis, spielt die in Abbildung 18 schematisch angedeutete gedankliche Modellsimulation, u.a. als Ausgangspunkt für Deutungs- bzw. Schlussfolgerungsprozesse, eine bedeutende Rolle (vgl. Kapitel 2.2.4).

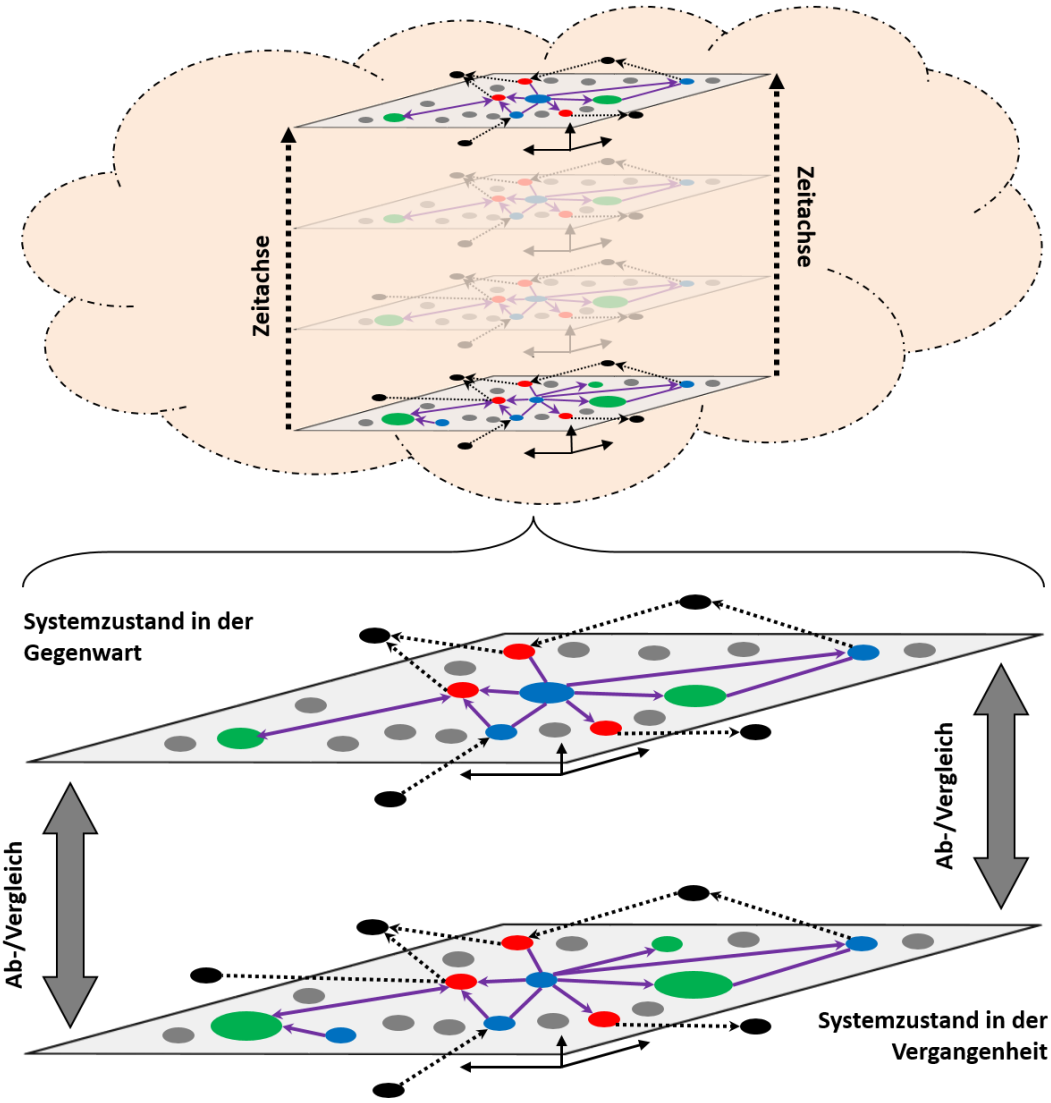


Abbildung 18: Entwicklung des zeitlichen Systemverständnisses (eigene Darstellung)

Hinsichtlich der in Abbildung 18 dargestellten Modellsimulation ist die von Schnotz (2001) hervorgehobene Bildanimation als visuelle Unterstützung für den Aufbau eines lauffähigen Modells (vgl. Kapitel 2.4.4.2) förderlich, die sich bei der Betrachtung von mehreren Luft- und Satellitenbildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte bzw. von mehreren topographischen Karten verschiedener Bezugszeiträume realisieren lässt: Anstelle der parallelen Betrachtung von nebeneinander angeordneten Bildern bzw. Karten ist in bestimmten Computerprogrammen eine passgenaue Anordnung übereinander

möglich, bei der das schnelle Ein-/Ausblenden des überlagernden Bildes bzw. der überlagernden Karte einen animationsähnlichen Effekt hervorruft[59]. Durch diese Art der Bild- bzw. Kartenbetrachtung kann zum einen die von Schnotz (2001) hervorgehobene jeweilige graphische Konfiguration ausführlich betrachtet und interpretiert werden, die einen Einblick in den statischen Systemzustand gibt, wie er in einem Bild bzw. auf einer Karte repräsentiert ist. Zum anderen kann darüber hinaus der mentale Simulationsprozess durch die animationsähnliche Wahrnehmung mehrerer Bilder bzw. Karten angeregt und unterstützt werden. Dies könnte dadurch geschehen, dass die Systemzustände der einzelnen Aufnahmezeitpunkte bzw. Bezugszeiträume mental zusammengefügt und zu einer einzigen, durchgehenden Sequenz im Sinne einer Zeitreihe verschmolzen werden, wobei u.U. nur mental existierende Zwischenstadien (als Unterstützung) integriert werden. In der Folge sollte es möglich sein, raumzeitliche Unterschiede in den Systemzuständen als Resultat zugrundeliegender Veränderungsprozesse zu begreifen. Hieraus sollte ein Verständnis erwachsen, wie sich das System auf der Zeitachse aus der Vergangenheit in die Gegenwart hin entwickelt hat und möglicherweise auch, wie es sich in der Zukunft weiterentwickeln könnte.

Im Rahmen der verschiedenen Pfade in Abbildung 17 und der schematisch angedeuteten gedanklichen Modellsimulation in Abbildung 18 erscheint es theoretisch möglich, bei der Bild- und Kartenauswertung die verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE aus Kapitel 3.1 auszubilden bzw. anzuwenden. Die konkrete Art und Weise, wie dies in Bezug auf das System Braunkohleabbau erfolgen kann, ist in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Möglichkeiten zur Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Fähigkeiten	Beitrag der jeweiligen visuellen Auswertung
Identifikation der Systemgrenze	• Fokussierung auf die systemrelevanten Primärinformationen • Fokussierung auf die systemrelevanten Sekundärinformationen • Fokussierung auf die systemrelevanten Tertiärinformationen
Identifikation der Systemelemente	• Zuweisung einer Bedeutung von Bild- bzw. Karteninhalten (Primärinformationen) als Elemente des behandelten Systems • Bewusste Ableitung von Systemelementen (Sekundärinformationen) aus Primärinformationen • Bewusste Ableitung von Systemelementen (Tertiärinformationen) aus Sekundärinformationen
Identifikation der Beziehungen zwischen den Systemelementen	• Erschließung von Beziehungen zwischen im Bild bzw. auf der Karte identifizierter Primärinformationen • Erschließung von Beziehungen zwischen Primärinformationen und Sekundärinformationen • Erschließung von Beziehungen zwischen Sekundärinformationen • Erschließung von Beziehungen zwischen Sekundärinformationen und Tertiärinformationen • Erschließung von Beziehungen zwischen Tertiärinformationen
Identifikation der Systemprozesse	• Erschließung von Prozessen anhand von im Bild bzw. auf der Karte identifizierter Primärinformationen • Erschließung von Prozessen zwischen Primärinformationen und Sekundärinformationen • Erschließung von Prozessen zwischen Sekundärinformationen • Erschließung von Prozessen zwischen Sekundärinformationen und Tertiärinformationen • Erschließung von Prozessen zwischen Tertiärinformationen
Identifikation der Systemstruktur	Erfolgt durch das Zueinander-in-Beziehung-setzen im Rahmen der Identifizierung der Beziehungen und Prozesse

[59] Durch das temporäre Ausblenden wird das unterlagernde Bild bzw. die unterlagernde Karte zeitweise sichtbar. Eine schnelle Abfolge des Ein- und Ausblendens löst die Wahrnehmung von Bewegtbildern aus, sodass sich wie bei einem Film die Unterschiede zwischen den Bildern bzw. Karten als ablaufende Veränderungen wahrnehmen lassen.

Im Kontext der bisherigen Überlegungen und Erläuterungen zeigt sich, dass die Systemmerkmale mittels Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten nicht alle auf die gleiche Art und Weise und nicht alle gleich gut erfasst bzw. erschlossen werden können. Es erscheinen besonders jene nur schwer erfassbar, für die es wenige oder u.U. keine bild- bzw. karteninternen visuellen Anhaltspunkte (Indikatoren) gibt bzw. deren visuelle Anhaltspunkte als solche schwer (wieder) zu erkennen oder zu interpretieren sind. In diesem Zusammenhang sollten die in den Kapiteln 2.4.2.2, 2.4.3.2 und 2.4.4.2 vorgestellten Einflussvariablen mitunter eine erhebliche Rolle spielen.

Aus den bis zu diesem Zeitpunkt allgemeinen, d.h. für beide Medien zutreffenden Annahmen wird in Kapitel 3.3.1 eine konkret zu untersuchende Forschungsfrage/-hypothese mit Blick auf die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern abgeleitet. Im Anschluss daran wird in Kapitel 3.3.2 die Luft- und Satellitenbildauswertung in das Verhältnis zur Auswertung von topographischen Karten gestellt und unter Berücksichtigung der Perspektiven der Bildwissenschaft/Kognitionspsychologie miteinander verglichen, um in der Folge weitere Forschungsfragen/-hypothesen abzuleiten.

3.3.1 Anwendung der Fähigkeiten bei der Luft- und Satellitenbildauswertung

Wie in Kapitel 2.4.2.2 aufgezeigt, liegen in der Fernerkundungsdidaktik bereits Untersuchungen zum unterrichtlichen Einsatz von Satellitenbildern vor, die die Verwendung in der Orientierungsstufe (Neumann-Mayer 2005), die Entwicklung eines Konzepts zur verstärkten Integration in den Geographieunterricht (Reuschenbach 2007), die Erfassung des Einsatzes und der Bedeutung im Schulunterricht im internationalen Vergleich (Siegmund 2011), die empirische Untersuchung einer satellitenbildspezifischen Lesekompetenz (Kollar 2012) bzw. die Motivation von Lernenden bei der Arbeit mit Satellitenbildern (Ditter 2013) in den Blick nehmen. Ferner liegt eine Vielfalt an Unterrichtsmaterialien vor, die u.a. Online-Angebote umfassen (vgl. Kapitel 2.4). Luft- und Satellitenbilder finden Verwendung als wertvolle Einblicke in Zustände und in die raumzeitliche Entwicklung. Bereits jetzt ist es angesichts der räumlichen, spektralen und temporalen Informationsvielfalt möglich, sich jede Erdregion in verschiedenen Maßstäben und Farbdarstellungen, z.T. auch für verschiedene Zeitpunkte, weitestgehend ungefiltert und teilweise animiert anzusehen. Bei einer Betrachtung in Google Earth oder Google Maps bietet direktes Hinein-/Herauszoomen den unmittelbaren Wechsel zwischen Detail- und Überblicksansicht mit ihren jeweiligen Vorteilen (vgl. Kapitel 2.4.2.1).

Ausgehend von den Erläuterungen in Kapitel 3.3 erscheint es im Rahmen eines Lernsettings mit entsprechend auf systemisches Denken ausgerichteten, bildbezogenen Aufgaben und unter Verwendung von animationsähnlichen Effekten am Computer möglich, die in Kapitel 3.1 abgeleiteten Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE über die systemische Erschließung einer Thematik wie den Braunkohleabbau bei der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern zu fördern. Das diesbezüglich angenommene Potenzial und die damit zusammenhängende Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbilder als Informationsgrundlage für die systemanalytische Raumerkundung ist bisher weder explizit noch implizit in der Fernerkundung/-sdidaktik in den Blick genommen oder gar empirisch erforscht worden[60]. Angesichts dieses Forschungsdesiderats wird untersucht, ob es Schüler/innen der Kursstufe bei grundlegenden methodischen Kenntnissen mittels der visuellen Auswertung möglich ist, ein mentales Systemmodell in den drei Bezugsdimensionen Inhalt, Raum und Zeit zu entwickeln bzw. das bereits bestehende Modell entsprechend anzupassen und zu erweitern.

[60] Angesichts der Gemeinsamkeiten kann in dieser Hinsicht z.T. auf die in Kapitel 2.4.3.2 geschilderten empirisch fundierten Erkenntnisse aus den Studien zum Karteneinsatz zurückgegriffen werden.

Wie aktuellere Untersuchungen von Siegmund (2011), Kollar (2012) und Ditter (2013) zeigen, sind Luft- und Satellitenbilder bundesweit bzw. in Baden-Württemberg bisher unterrichtlich noch unterrepräsentiert, obschon gemäß den Bildungsstandards im Fach Geographie (DGfG 2012) bzw. dem Bildungsplan für den Kompetenzerwerb im Fach Geographie an baden-württembergischen Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004) mit dem Erreichen des mittleren Bildungsabschlusses formal bereits eine gewisse Grunderfahrung im Lesen und Interpretieren vorliegen sollte (vgl. Kapitel 2.4.1). Es ist daher davon auszugehen, dass nicht alle Kursstufenschüler/innen über grundlegende methodische Kenntnisse verfügen. Liegen diese erst einmal vor, sollte es ihnen in Anlehnung an die in Kapitel 2.4.2.1 vorgestellten Vorzüge der verschiedenen Raumauflösungen sowie die in Kapitel 2.4.2.2 erläuterte Vorgehensweise bei der Bildauswertung möglich sein, über ein hochaufgelöstes Bild die visuelle Auswertung von inhaltlich-strukturell komplexeren Bilden des gleiches Erdraums mit einer geringeren Raumauflösung zu einem gewissen Grad zu erleichtern. In der Folge sollte das natürliche und indikatorische Bildverstehen insgesamt gefördert werden und zur Erschließung der systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen, in deren Rahmen die verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE zur Anwendung kommen, beitragen. Es wird deshalb angenommen, dass die visuelle Bildauswertung seitens der Kursstufenschüler/innen bei grundlegenden methodischen Kenntnissen im getrimmten Gruppenmittel[61] eine positive Wirkung auf die verschiedenen Fähigkeiten entfaltet[62]. Nach Lewalter (1997) lässt sich die „*Steigerung der Lernleistung als Kriterium für die positive Wirkung von Bildern*“ (ebd., S. 109) heranziehen, wobei u.a. die (Wieder-) Erkennung von Lerninhalten, mit Bildinhalten zusammenhängendes Faktenwissen bzw. die Bewältigung von Verständnis-, Problemöse- oder Anwendungsaufgaben als Kriterium dienen können. Als positive Wirkung wird in dieser Arbeit eine signifikante Steigerung (Verbesserung) der Kursstufenschüler/innen in der Anwendung ihrer Fähigkeiten verstanden, die durch die visuelle Bildauswertung hervorgerufen und informationell unterstützt wird. In diesem Kontext ergibt sich die erste Forschungsfrage:

> **Forschungsfrage 1:** ***Kann bei grundlegenden methodischen Kenntnissen durch die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern die Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE signifikant gesteigert werden?***

Welches Ausmaß die signifikante Steigerung erreicht, ist angesichts der interindividuell unterschiedlichen Wirkung der lernhemmenden Faktoren aus Kapitel 2.4.2.2 (z.B. Bildkomplexität, Mehrdeutigkeit, unbekannte Farbgebung und fehlende Erläuterung) nicht vorhersagbar. Zudem sind die in Kapitel 3.3 erläuterten Selektionsprozesse bei der visuellen Auswertung einflussnehmend, sodass die Wirkung u.a. auch dadurch mitbestimmt wird, wie gut es individuell gelingt, (wieder-) erkannte Primärinformationen als systemrelevant zu identifizieren, aus diesen systemrelevante Sekundärinformationen abzuleiten (Indikator-Funktion) und sich daraus in weiterführenden Gedankengängen systemrelevante Tertiärinformationen zu erschließen. Angesichts der Vielfalt potenzieller Einflussfaktoren erscheint es nicht möglich, die konkrete Stärke des zu erwartenden Effekts, den die visuelle Auswertung auf die Fähigkeiten hat, näher zu quantifizieren. Aus diesem Grund wird die folgende Forschungshypothese gerichtet, aber unspezifisch formuliert:

> **H_1*: Bei grundlegenden methodischen Kenntnissen verbessern sich die Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE im getrimmten Mittel signifikant im Zuge der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern.***

[61] Das Konzept des getrimmten Mittel(wert)s entstammt der robusten Statistik, die in Kapitel 5 vorgestellt wird.

[62] Dass bei der statistischen Auswertung auch ausbleibende oder sogar negative Auswirkungen reliabel erfasst werden können, wird in Kapitel 4 erläutert.

Da sich die allgemein formulierte H_1 nicht direkt verifizieren oder falsifizieren lässt, bedarf es wie bei Sommer (2005) einer Aufgliederung in mehrere Teilhypothesen, die sich inhaltlich auf die einzelnen Fähigkeiten beziehen und auf deren Grundlage eine Gesamtbeurteilung erfolgen kann:

> ***Bei grundlegenden methodischen Kenntnissen verbessert sich die Fähigkeit, …, im getrimmten Mittel signifikant im Zuge der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern.***
>
> **$H_{1.1}$: *… die Systemgrenze zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.2}$: *… die Systemelemente zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.3}$: *… die Beziehungen zwischen den Systemelementen zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.4}$: *… die Systemprozesse zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.5}$: *… die innere Systemstruktur zu identifizieren …***

Die sich aus den o.g. Teilhypothesen im Rahmen des spezifischen Forschungsdesigns und Operationalisierungsansatzes in dieser Arbeit ergebenden und empirisch zu überprüfenden statistischen Hypothesen sind Gegenstand von Kapitel 4.

3.3.2 Die Anwendung der Fähigkeiten bei der Luft- und Satellitenbildauswertung im unmittelbaren Verhältnis zur Anwendung bei der Auswertung von topographischen Karten

Um zu einer besseren Beurteilung der Wirksamkeit von Luft- und Satellitenbildern zu gelangen, scheint es forschungsmethodisch notwendig, diese mit der Wirksamkeit eines im Wesen äquivalenten piktoralen Informationsträgers zu vergleichen. Für einen derart vergleichsorientierten Ansatz erscheinen topographische Karten als Vergleichsgegenstand deshalb geeignet, weil sie dem Untersuchungsgegenstand in zahlreichen Belangen möglichst äquivalent sind (vgl. u.a. Kapitel 2.4.4.1 und 3.3). Nach Kaminske (2012) stehen sie in einer strukturellen wie funktionalen Verwandtschaft zueinander. Neben den sich daraus ergebenden Gemeinsamkeiten bestehen zugleich hinreichende Unterschiede, sodass nach Albertz (2009) ein teils konkurrierendes, teils komplementäres Verhältnis besteht. Ein Vergleich ihrer medienspezifischen Stärken und Schwächen wird von beiden Autoren gefordert.

Die Auswahl topographischer Karten aus dem breiten Spektrum verfügbarer kartographischer Darstellungen wird damit begründet, dass dieser Kartentyp im Gegensatz zu thematischen Karten einer geringeren inhaltlichen Entlastung (Informationsreduktion) unterliegt[63]. In ihnen ist in einer stärkeren Vergleichbarkeit zu Luft- und Satellitenbildern eine Fülle von Rauminformationen in Form von topographischen Sachverhalten repräsentiert, die einen umfassenden Einblick in die natürlichen und anthropogenen Gegebenheiten im repräsentierten Erdraum geben (vgl. Kapitel 2.4.3.1). Infolgedessen erscheinen sie besonders dazu geeignet, um in der inhaltlichen Bezugsdimension die Erarbeitung einer breiten Vielfalt an systemrelevanten Sachverhalten und ihren Zusammenhängen in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu ermöglichen. Ein weiterer Grund beruht auf dem ausgewählten System Braunkohleabbau. Für eine Auseinandersetzung mit dieser raumgebundenen Thematik liegen, v.a. mit Blick auf das Rheinische Braunkohlerevier, topographische Karten verschiedener Maßstäbe und Bezugszeiträume vor, auf denen systemrelevante Informationen in unterschiedlichen Detailgraden dargestellt sind und bei deren Vergleich am Computer raumzeitliche Veränderungen und Entwicklungsprozesse wahrgenommen werden können.

[63] Es lässt sich eine Bandbreite an unterschiedlichsten raumbezogenen (geographischen) Themen behandeln, für die es ansonsten u.U. verschiedener thematischer Karten bedarf.

Vorliegende thematische Karten zum Braunkohleabbau im Rheinischen Revier weisen explizit Systemelemente wie Rekultivierungs-/Renaturierungsflächen, aufgegebene/neue Siedlungen, Pumpstationen für die großräumige Grundwasserabsenkung, Kraftwerke oder Förderbänder/Werkseisenbahnen durch unmittelbare Beschriftung bzw. farbliche Hervorhebung aus, die die Wahrnehmung von Beziehungen zwischen ihnen bzw. von Prozessen vereinfachen sollten. Des Weiteren sollten sie mentale Simulationsprozesse anhand zukunftsgerichteter Andeutungen/Hinweise, wie z.B. die mit kartographischen Mitteln dargestellte Bewegungsrichtung der Tagebaue oder der zukünftig geplanten Abbaugebiete (maximale Fördergrenze), anregen und unterstützen. Insgesamt wäre daher zunächst zu erwarten, dass die thematischen Karten gegenüber den topographischen vorteilhafter für die Systemmodellkonstruktion/-simulation sein sollten. Dass die o.g. kartographischen Hilfestellungen allerdings nicht automatisch ihre Wirkung entfalten, wird aus den in Kapitel 2.4.3.2 vorgestellten empirischen Untersuchungsergebnissen von Diekmann-Boubaker (2010) und Herzig et al. (2007) ersichtlich: Das bei thematischen Karten fehlende universelle Zeichensystem erfordert weiterhin das Lesen der Legende/Kartenschrift. Erfolgt diese nicht oder nur unzureichend, können auch Oberstufenschüler/innen (Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010) bzw. Studienanfänger/innen (vgl. Herzig et al. 2007) die Erschließung von Signaturen schwerfallen. Erstere können zudem kausale oder funktionale Beziehungen/Zusammenhänge sowie Abhängigkeiten und raumzeitliche Veränderungen (dynamische Prozesse) nicht oder nur mit größeren Schwierigkeiten schlussfolgern. Aus der Sicht des Ablaufschemas von Weidenmanns betrachtet, lässt sich die fehlende Auseinandersetzung mit der Legende/Kartenschrift damit erklären, dass der geringe oder ggf. sogar ausbleibende Bedarf für Normalisierungsversuche in der Initialphase der Kartenauswertung dafür verantwortlich sein könnte, dass in der Folge kein vertieftes Lesen der Legende/Kartenschrift eingesetzt hat und stattdessen das Phänomen des flüchtigen Blicks aufgetreten ist (vgl. Kapitel 2.4.4.2). In diesem Kontext wird die Schlussfolgerung von Herzig et al. (2007) aus Kapitel 2.4.3.2 verständlich, wonach die Studienanfänger/innen vermutlich auf das einzig bekannte Wissen über das Aussehen von Signaturen aus ihrem Schulatlas zurückgegriffen hätten: Mit den Schulatlas-Signaturen identische oder zumindest optisch vergleichbare Zeichen in den verwendeten thematischen Karten könnten fälschlicherweise als bereits bekannt wahrgenommen worden sein, mit dem Ergebnis, dass eine ausführliche Beschäftigung mit der Legende/Kartenschrift nicht als notwendig erachtet wurde und stattdessen das bestehende Wissen über die Bedeutung der Schulatlas-Signaturen zur Anwendung kam. Bei topographischen Karten, die (aus dem Schulunterricht) weniger bekannt sind, sollte nach dem Ablaufschema von Weidenmann ein höherer Bedarf für Normalisierungsversuche bestehen, um die in ihnen z.T. unbekannten Signaturen zu decodieren. Dies wiederum sollte in eine vergleichsweise intensivere Auseinandersetzung mit ihnen münden. Obschon die thematischen Karten Darstellungsvorteile aufweisen, bergen sie potenziell die Gefahr eines flüchtigen Blicks, während topographische Karten gerade wegen ihrer geringeren Bekanntheit/Vertrautheit zu einer intensiveren Auseinandersetzung anregen könnten. In diesem Kontext erscheint die unklare Gemengelage zwischen Schwierigkeit und Reiz gemäß Reuschenbach (2007) von Bedeutung (vgl. Kapitel 2.4.2.2). Seitens der topographischen Karten ist zu berücksichtigen, dass ihre große Informationsfülle und hohe Signaturendichte grundsätzlich höhere kognitive Anforderungen an den Rezipienten bzw. die Rezipientin stellen. Liegt kein ausreichendes spezifisches Kartenwissen vor, lassen sich ihre Signaturen dennoch mittels prozeduralem Kartenwissen (v.a. das Wissen über die Verwendung von Legende/Kartenschrift) entschlüsseln, wobei das bereichsspezifische (System-)Vorwissen einen durchaus bedeutenden Einfluss ausübt (vgl. Kapitel 2.4.3.2).

Im Kontext der Realismusthese wird in der Bildwissenschaft nach Weidenmann (2006: 450) die Frage diskutiert, inwiefern realistische Bilder wie u.a. Luft- und Satellitenbilder Lernprozesse besser fördern können als abstraktere schematische Darstellungen wie z.B. Karten. Der Autor geht selber davon aus,

dass beide Kategorien grundsätzlich anders zu lesen sind (Weidenmann 1994: 22). Didaktisierte Bilder mit einer teils ikonischen, teils symbolbasierten Repräsentationsart werden für die Vermittlung zwischen der piktoral repräsentierten Wirklichkeit und den ihnen mental zuzuordnenden Konzepten/ Schemata als bedeutsam angesehen, da sie die Wirklichkeit auf eine strukturierte und akzentuierte Art und Weise wiedergeben. Derart strukturierte Bilder, zu denen u.a. die schematischen Darstellungen und damit nach Weidenmann auch (topographische) Karten gehören, werden mit Blick auf die Konstruktion eines mentalen Modells, v.a. für Lernschwächere, als besser geeignet angesehen als die piktoral komplexen realistischen Bilder. Allerdings sind die Symbole in strukturierten Bildern dahingehend anforderungsreicher, dass sie spezielles semiotisches Wissen (Graphik-Schemata) erfordern, während die ikonischen Zeichen in realistischen Bildern über ökologische Schemata erkannt werden können (vgl. Kapitel 2.4.4.1).

Ausgehend von einer Charakterisierung als realistische Bilder (Abbilder) in Anlehnung an Schnotz (2001, 2002:65, 2006: 853) kommen Karten und ihre visuelle Auswertung nach Hüttermann (2005, 2012a: 192), Gryl et al. (2010), Hemmer et al. (2010) und Hemmer et al. (2012: 149) vielmehr Bildern (externe depiktionale Repräsentationen) gleich als Texten (externe deskriptionale Repräsentationen), da die Informationsentnahme über ökologische Schemata relativ leicht und schnell erfolgen kann (vgl. Schnotz & Dutke 2004 in Dickmann & Diekmann-Boubaker 2010). Die kognitive Verarbeitung wird im Zuge einer analogen Strukturabbildung gesehen, in deren Rahmen es möglich ist, mittels der perzipierten Rauminformationen ein mentales Raummodell ohne den Umweg über eine Umcodierung zu generieren (Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 149; Hüttermann 2012a: 192ff.). Das Verständnis für die Karteninhalte entwickelt sich dabei umso mehr, je besser es gelingt, „*die Analogie zwischen Sachverhalten und Repräsentationen durch Aktivierung geeigneter kognitiver Schemata zu erkennen*“ (Hemmer et al. 2012: 164). Obschon der Autor dieser Arbeit den o.g. Autor/innen dahingehend zustimmt, dass Karten stärker Bildern gleichen als Texten, schließt sich die vorliegende Arbeit dennoch der Sichtweise von Weidenmann (1991b, 1994: 22) bzw. Ballstaedt (1997) an, wonach Karten von ihrem Wesen her schematische Darstellungen eines Erdraums sind: Sie geben diesen wie realistische Bilder strukturell übereinstimmend wieder, enthalten aber keine ikonischen, sondern artifizielle graphische Zeichen in Form der Signaturen, für deren Verständnis Graphik-Schemata notwendig sind (vgl. Kapitel 2.4.3.1 bzw. 2.4.3.2). In Anlehnung an Diekmann-Boubaker (2010) sind sie (deshalb) anders zu lesen als realistische Bilder. In Übereinstimmung zu Hüttermann (2012a: 19f.) liegt der räumlichen Anordnung der Signaturen im Kartenbild durchaus eine Abbildfunktion zugrunde, bei „*der die Anordnung aus der Realität abgeleitet ist*“ (ebd., S. 19f.), doch gehen in Abhängigkeit zum Kartenmaß generalisierungsbedingte Sortierungs-, Gruppierungs- und Positionierungsregeln in die Anordnung mit ein (Hüttermann 1998; Lenz 2006a: 196; Rinschede 2007): Während großmaßstäbige Karten auf der geometrisch-topologischen Ebene mitunter einen abbildähnlichen Anschein erwecken können, obwohl auch in ihnen weiterhin graphische Zeichen Verwendung finden, handelt es sich bei kleinmaßstäbigen Karten maßstabsbedingt eher um abstrakt wirkende schematische Darstellungen.

Beruhend auf den in Kapitel 2.4.2.1, 2.4.3.1 und 2.4.4.1 aufgezeigten Wesenszügen und den in Kapitel 2.4.2.2, 2.4.3.2 und 2.4.4.2 vorgestellten fernerkundungs- bzw. kartendidaktischen und bildwissenschaftlichen Erkenntnissen über die kognitive Verarbeitung sind in Tabelle 16 die Spezifika von Luft- und Satellitenbildern einerseits sowie von topographischen Karten andererseits hinsichtlich ihres Entstehungsprozesses, ihrer Eigenschaften, ihres Inhalts, ihrer Repräsentationsweise, der Auswertung ihrer Inhalte und ihrer mentalen Wirkung einander gegenübergestellt.

Tabelle 16: Vergleichende Gegenüberstellung der Spezifika von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Luft- und Satellitenbilder*	Topographische Karten
Entstehungshintergrund	
Kausal: physikalisch-technische Erfassung von Sachverhalten (Objekten, Erscheinungen) auf der Basis von Spektralwerten und deren piktorale Darstellung in Grau-/Farbwerten	Kommunikationsorientiert: Zweckorientierte Überführung von Rauminformationen aus älteren Karten oder Luft- und Satellitenbildern in eine innerhalb von Konventionen festgelegte symbolbasierte Darstellungsform
Eigenschaften	
Chorographische/chorologische Eigenschaften gemäß Raumauflösung: räumliche Lage und räumlich-strukturelle Relationen werden durch die Anpassung der Abbildungsgröße im Bild über alle Raumauflösungen hinweg relationstreu (exakt) wiedergegeben	Chorographische/chorologische Eigenschaften gemäß Kartenmaßstab: räumliche Lage und räumlich-strukturelle Relationen variieren maßstabsbedingt: • Bei großen Maßstäben grundrissgetreue Darstellung • Bei kleinen Maßstäben lageähnliche Darstellung
Abbildungen eines begrenzten Erdraums mit einer bestimmten Raumauflösung (Bildmaßstabs)	Darstellungen eines begrenzten Erdraums in einem bestimmten Kartenmaßstab
Zentralprojektion der physischen Erdoberfläche in die Bildebene (nur bei Luftfotos) mit Verzerrung	Verschiedene Projektionsarten der Erdoberfläche in die Kartenbezugsfläche mit unterschiedlichen Verzerrungen
Keine maßstabsgerechten Abbildungen: • Bildmaßstäbe sind nur grobe Annäherung an eine gerundete Maßstabszahl • Bei unebenem Gelände zusätzliche Fehler • Prinzipiell keine lagetreuen Abbildungen (Einflüsse von Aufnahmerichtung, Geländehöhe, Erdkrümmung etc.) • Unterrichtlich eingesetzte Bilder sind i.d.R. korrigiert	Maßstabsgerechte Darstellungen: Abweichungen kommen durch räumliche Generalisierung bei kleineren Kartenmaßstäben zustande: • Grundsätzlich lagetreue Darstellungen • Abweichungen durch räumliche Generalisierung bei kleineren Kartenmaßstäben
Verkleinerte und verebnete Abbildungen der Wirklichkeit	Verkleinerte und verebnete Darstellungen der Wirklichkeit
Nach der Bildbearbeitung nach Norden orientiert	Nach Norden ausgerichtet
Inhalt	
Rauminformationen beruhen auf physikalisch-technischen Kausalitäten bei der Detektion von elektromagnetischer Strahlung	Rauminformationen aus älteren Karten oder Luft- und Satellitenbildern innerhalb von Konventionen mittels graphischer Zeichen (Symbole) verschlüsselt dargestellt
Informationsebenen: • Merkmalsbezogen: Farbe, Größe, Form etc. der Sachverhalte (mehr oder weniger deutlich bei allen Raumauflösungen) • Geometrisch-topologisch: räumliche Lage, Nachbarschaftsbeziehungen etc. der Sachverhalte • Semantisch (Inhalt/Bedeutung): selbstständig mittels Vorwissen zu erschließen	Informationsebenen: • Merkmalsbezogen: Farbe, Größe, Form etc. der Sachverhalte (v.a. bei großen Kartenmaßstäben, während bei kleinen Maßstäben nur für sehr große lineare/areale Sachverhalte zutreffend) • Geometrisch-topologisch: räumliche Lage, Nachbarschaftsbeziehungen etc. der Sachverhalte • Semantisch (Inhalt/Bedeutung): kann erschlossen werden mittels Legende/Kartenschrift
• Augenblicks-/Momentaufnahme, d.h. Ist-Zustand zum Aufnahmezeitpunkt (natürliches Bild) • Jahreszeitliche Effekte (Landwirtschaft, Vegetation) • Bei Kanälen jenseits des sichtbaren Lichts zusätzliche Informationen über Objekteigenschaften (Oberflächentemperatur, Bodenfeuchtigkeit, Vegetationszustand)	• Modellhafte graphische Annäherung an die Wirklichkeit • Informationen in ihrem durchschnittlichen Zustand innerhalb eines bestimmten Zeitraums repräsentiert

• Physisch Existierendes in Abhängigkeit zur spektralen Signatur sowie zum räumlichen/spektralen Auflösungsvermögen sensorisch erfasst (technischer Grund): ○ Durch räumliches Auflösungsvermögen (Faktor Bildmaßstab): ➢ Bei hoher Raumauflösung auch kleine Sachverhalte deutlich sichtbar und mit vielen Feinheiten wiedergegeben ➢ Bei geringer Raumauflösung werden kleine Sachverhalte bei der Bildpixelzuweisung durch Spektralwertbündelung mit anderen Sachverhalten vermischt wiedergegeben ○ Durch spektrales Auflösungsvermögen (Faktor spektrale Sensitivität): ➢ Bei hoher Sensitivität Informationsvielfalt über Sachverhalte aus diversen Wellenlängenbereichen ➢ Bei geringer Sensitivität beschränkte Informationen über Sachverhalte aus wenigen Wellenlängenbereichen	• Reduktion der absoluten Informationsfülle: ○ Räumliche Generalisierung: im Rahmen von Konventionen durchgeführte maßstabsbedingte Vereinfachung, Hervorhebung oder Verdrängung von Karteninhalten (technischer Grund) ➢ Bei kleinem Kartenmaßstab wenige Signaturenklassen und einfache Symbole mit lageähnlicher Verortung ➢ Bei großem Kartenmaßstab viele Signaturenklassen mit differenzierten und z.T. komplexen Symbolen und grundrisstreuer Repräsentation von Sachverhalten ○ Inhaltliche Generalisierung: im Rahmen von Konventionen zweckorientiert durchgeführte inhaltliche Reduktion auf beständige, topographisch wichtige Rauminformationen in einer definierten Anzahl von Inhaltsklassen: ➢ Physisch Existierendes ➢ Nicht Physisch Existierendes (Grenzen von politischen Einheiten, Höhenlinien/-angaben, Kartenschrift, ggf. Andeutung geplanter Vorhaben)
Hohe absolute Informationsdichte: jeder Bildpixel enthält spektrale Informationen bei allen Raumauflösungen	Absolute Informationsdichte nimmt bei kleinen Kartenmaßstäben ab (Effekt der zunehmenden inhaltlichen und räumlichen Generalisierung)
Keine zusätzlichen Informationen über Bildinhalte hinaus	Zusätzliche verbal-numerische Informationen über graphische Karteninhalte hinaus
Hohe Aktualität (i.d.R. Wochen-/Monatszyklus)	Geringere Aktualität (i.d.R. mehrjähriger Bezugszeitraum)
Darstellungsweise	
Monocodalität: • Piktorales Zeichensystem: Repräsentation mittels ikonischer Zeichen in Form von Grau-/Farbwerten ○ Innere strukturelle Übereinstimmungen auf der Ebene der einzelnen Sachverhalte (Größe, Form etc.) ○ Äußere strukturelle Übereinstimmungen auf der Ebene der räumlichen Anordnung und der räumlich-strukturellen Beziehungen (Raumstruktur) zwischen den einzelnen Sachverhalten (vgl. chorographische bzw. chorologische Eigenschaften)	Multicodalität (hybrides Gebilde): • Piktorales Zeichensystem: Repräsentation mittels normierter, klassifizierter graphischer Zeichen ○ Innere strukturelle Übereinstimmungen bei einzelnen Sachverhalte in Abhängigkeit zum Kartenmaßstab: ➢ Bei großem Kartenmaßstab Verwendung bildhaft-konkreter Zeichen mit hoher visueller Ähnlichkeit (hoher Assoziationscharakter) ➢ Bei kleinem Kartenmaßstab Zwang zur Verwendung uniformer, abstrakt-geometrischer Zeichen (niedriger Assoziationscharakter) ○ Äußere strukturelle Übereinstimmungen auf der Ebene der räumlichen Anordnung und der räumlich-strukturellen Beziehungen (Raumstruktur) zwischen den einzelnen Sachverhalten (vgl. chorographische bzw. chorologische Eigenschaften) • Verbal-numerisches Zeichensystem: ○ Kartenschrift: als inhaltliche Erläuterung der graphischen Zeichen (Abkürzungen) sowie als Mittel zur Wiedergabe von Eigennamen und als Mittel für metrische Angaben (Geländehöhe) ○ Kartenlegende: als inhaltliche Erläuterung der verwendeten graphischen Zeichen

Vielfarbiges Halbtonbild mit unterschiedlich starken Abstufungen (Kontrasten) zwischen unmittelbar aneinander angrenzenden Bildpixeln: • Bei RGB-Kanalkombination: Echtfarbenbilder mit natürliche Farben (realistisch anmutende Bilder) • Bei Nicht-RGB-Kanalkombination: Falschfarbenbilder mit ungewohnte Farbgebung, u.U. mit Anteilen natürlicher Farben (hyperrealistische Bilder)	• Auf weißem Kartenhintergrund graphisch voneinander abgegrenzte, distinkt-diskrete Zeichen, die bei einer hohen Zeichendichte einander überlagern können (Verdeckungseffekt) • In begrenztem Maße an reale Farben angepasste Farbgebung der Symbole
Entsprechend den repräsentierten Gegebenheiten u.U. unübersichtliche Abbildungen aufgrund fehlender klarer optischer Strukturen, vieler kleinräumiger Feinheiten bzw. geringer Grau-/Farbwertkontraste	Klare und übersichtlich gestaltete Darstellungen zum Zwecke einer optimalen Informationsaufnahme
Natürliche Beleuchtungsverhältnisse aus Süden/Südosten	Technische Beleuchtung aus Nordwest-Richtung
Visuelle Auswertung: Wahrnehmung, Lesen und Interpretieren	
Visuelle Wahrnehmung (Perzeption): Wahrnehmbarkeit der Bildinhalte ist prinzipiell abhängig von deren Attributen (Grau-/Farbwertkontraste) sowie von der Raumauflösung (Bildmaßstab): • Erkennbarkeit ist umso besser, je größer die Raumauflösung ist, da umso mehr Details die (Wieder-)Erkennung unterstützen können • Prozesse gemäß dem Ablaufschema von Weidenmann: Das gesamte Bild wird wahrnehmungspsychologisch in verschiedene Wahrnehmungsentitäten bzw. Bildgestalten untergliedert, die sich jeweils aus einer Anzahl an Bildpixeln zusammensetzen und aufgrund von Mischsignaturen i.d.R. inhomogen ausgeprägt sind (interne Farb-/Helligkeitsunterschiede) • Perspektivischer Eindruck von Räumlichkeit (Dreidimensionalität)	**Visuelle Wahrnehmung (Perzeption)**: Wahrnehmbarkeit wird sicherzustellen versucht durch: • Verwendung von in ihrer Farbgebung unterscheidbaren und auf einem weißen Kartenhintergrund aufgetragenen distinkt-diskreten Zeichen • Bei kleinem Kartenmaßstab im Verhältnis überproportionale Zeichengröße • Prozesse teilweise vergleichbar mit dem Ablaufschema von Weidenmann: Der gesamte Karteninhalt wird wahrnehmungspsychologisch als Zusammensetzung einer Vielzahl einzelner graphischer und verbaler Karteninhalte erfasst
Bildlesen: • Evidente Bildinhalte können anhand des Vorwissens über bestimmte objekttypische Merkmale/Merkmalsrelationen bzw. über typische räumliche Anordnungen auf der Basis ökologischer Schemata als Repräsentation von Sachverhalten identifiziert und als solche im Zuge des natürlichen Bildverstehens (wieder-)erkannt werden • Identifizierte Inhalte können wichtige Hinweise auf weniger evidente Bildinhalten liefern, z.B. durch das Wissen über typische räumliche Anordnungen • Bei weniger evidenten Bildinhalten setzen unter Einfluss individuellen Vorstellungsvermögens Identifizierungsversuche im Kontext der Interpretationsfaktoren ein, in deren Verlauf generell mögliche Inhalte schrittweise ausgeschlossen und erkenntnisbasierte Beweise für einen konkret vorliegenden Sachverhalt gesammelt werden (convergence of evidence) • Echtfarbenbilder: (Wieder-)Erkennungseffekt durch natürliche Farbgebung erleichtert • Falschfarbenbilder: (Wieder-)Erkennung von Objekten erfordert ein Umdenken und ist i.d.R. an den Interpretationsprozess gekoppelt => Vorwissens-/Vorerfahrungsabhängigkeit	**Kartenlesen**: • Von semiotischem Vorwissen (Graphik-Schemata) abhängige Erschließung der inhaltlichen Bedeutung einzelner Signaturen (Decodierung) durch mentale Verknüpfung der graphischen Karteninhalte mit der Kartenschrift und v.a. der Kartenlegende

In Abhängigkeit zur Raumauflösung Generierung quantitativer bzw. qualitativer Aussagen (z.T. unter Zuhilfenahme von Messverfahren): • Merkmalsbezogen: Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Flächeninhalt, Volumen, Ausdehnung etc. • Geometrisch-topologisch: räumliche Lage, Verteilung, Muster, Distanzen etc.	In Abhängigkeit zum Kartenmaßstab Generierung quantitativer bzw. qualitativer Aussagen (z.T. unter Zuhilfenahme von Messverfahren): • Merkmalsbezogen: Länge, Breite, Höhe, Tiefe, Flächeninhalt, Volumen, Ausdehnung etc. • Geometrisch-topologisch: räumliche Lage, Verteilung, Muster, Distanzen etc.
Detaillierte Rückschlüsse auf das tatsächliche Aussehen (reale Größe, Form, Oberflächenstruktur etc.) der Sachverhalte bei hoher Raumauflösung möglich	Rückschlüsse auf das tatsächliche Aussehen (reale Größe, Form, Oberflächenstruktur etc.) der Sachverhalte bei sehr großem Maßstab in begrenztem Maße anhand bildhaft-konkreter Zeichen und Grundrissdarstellung möglich
Bildinterpretation: Vorwissensbedingt sind durch weiterführende Kognitionsprozesse (Deutung/Schlussfolgerung) Erkenntnisse über das im Bild nicht direkt Erkennbare (Sekundärinformationen) anhand des bereits Erkannten (Primärinformationen) möglich: • Zustand, Eigenschaft, Beschaffenheit, Wesen, Funktion, Zweck von Sachverhalten • Gedankliche Herstellung von Relationen (kausale, genetische, funktionale Zusammenhänge) zwischen Sachverhalten auf der Basis räumlich-struktureller (topologischer) Informationen => Erklärung räumlicher Standorte, Verteilungen, Muster	**Karteninterpretation**: Vorwissensbedingt sind durch weiterführende Kognitionsprozesse (Deutung/Schlussfolgerung) Erkenntnisse über das auf der Karte nicht direkt Erkennbare (Sekundärinformationen) anhand des bereits Erkannten (Primärinformationen) möglich: • Zustand, Eigenschaft, Beschaffenheit, Wesen, Funktion, Zweck von Sachverhalten • Gedankliche Herstellung von Relationen (kausale, genetische, funktionale Zusammenhänge) zwischen Sachverhalten auf der Basis räumlich-struktureller (topologischer) Informationen => Erklärung räumlicher Standorte, Verteilungen, Muster
Entspricht mit abweichendem Schwerpunkt dem indikatorischen Bildverstehen: • selektionierte Wahrnehmung von Bildinhalten unter einer bestimmten Fragestellung/Thematik • Schlussfolgerung von Raumstrukturen und räumlichen Prozessen durch bildinterne Indikatoren	Entspricht sinngemäß mit abweichendem Schwerpunkt dem indikatorischen Bildverstehen: • selektionierte Wahrnehmung von Karteninhalten unter einer bestimmten Fragestellung/Thematik Schlussfolgerung von Raumstrukturen und räumlichen Prozessen durch karteninterne Indikatoren
Fehlende thematische Selektion sowie fehlende Erläuterung können dazu führen, dass mehrdeutige Bildinhalte unverständlich bleiben (u.U. Zuhilfenahme zusätzlicher Informationsquellen erforderlich)	Eindeutige Bedeutungszuweisung über die Kartenlegende und z.T. auch durch die Kartenschrift
Interpretationsmöglichkeiten durch Bildvergleich: Auf der Basis wahrgenommener Veränderungen: • Rückschlüsse auf raumzeitliche Vorgänge/Abläufe, Prozesse, Entwicklungen und Dynamiken • Schlussfolgerungen über die Raumgenese • Erkenntnisse über Ursprünge/Ursachen, Zu-/Abgänge, Auswirkungen/Folgen (ggf. in Art, Richtung und Geschwindigkeit) • Bewertung raumwirksamer Prozesse hinsichtlich ihrer Auswirkungen und der damit verbundenen Probleme • ggf. Prognosen über die weitere Entwicklung bzw. den weiteren Verlauf	**Interpretationsmöglichkeiten durch Kartenvergleich**: Auf der Basis wahrgenommener Veränderungen: • Rückschlüsse auf raumzeitliche Vorgänge/Abläufe, Prozesse, Entwicklungen und Dynamiken • Schlussfolgerungen über die Raumgenese • Erkenntnisse über Ursprünge/Ursachen, Zu-/Abgänge, Auswirkungen/Folgen (ggf. in Art, Richtung und Geschwindigkeit) • Bewertung raumwirksamer Prozesse hinsichtlich ihrer Auswirkungen und der damit verbundenen Probleme • ggf. Prognosen über die weitere Entwicklung bzw. den weiteren Verlauf
Reflexion/Bewertung z.B. über die Aussagekraft des Bildes mit Blick auf eine bestimmte Fragestellung (nicht sichtbare Rauminformationen als Folge der Kanalkombination oder aufgrund der Raumauflösung)	Reflexion/Bewertung z.B. der Nützlichkeit einer Karte als Informationsgrundlage (nicht enthaltene Rauminformationen aufgrund von thematischen Schwerpunktsetzungen oder bestimmten Darstellungsweisen)

Mentale Wirkung	
(Weiter-)Entwicklung einer depiktionalen mentalen Repräsentation des Erdraums (kognitiven Übersichts-/ Überblickskarte) unter Abgleich mit bereits bestehenden kognitiven Strukturen => Entwicklung eines Raumbewusstseins inklusive eines Bewusstseins und Verständnisses für die räumliche und zeitliche Dimension von natürlichen wie anthropogenen Gegebenheiten und Abläufen sowie von Mensch-Umwelt-Interaktionen	(Weiter-)Entwicklung einer depiktionalen mentalen Repräsentation des Erdraums (kognitiven Übersichts-/ Überblickskarte) unter Abgleich mit bereits bestehenden kognitiven Strukturen => Entwicklung eines Raumbewusstseins, d.h. *„sich aus der Karte ein Bild der abgebildeten Wirklichkeit machen zu können“* (Hüttermann 2001: 31)

*Hinweis: Alle Angaben beziehen sich auf Senkrechtluftbilder (Orthofotos) und Satellitenbilder, die für den Einsatz im Unterricht vorbereitet sind und keiner weiteren Bildbearbeitung bedürfen.

Quellen in Bezug auf Luft- und Satellitenbilder: Bär 1977; Geiger 1979, zit. in Hassenpflug 2012: 254; Scholz et al. 1983; Beckel & Winter 1989; Weidenmann 1991b, 1994: 22; Schnotz 1993b, 2001, 2002: 65f., 2006: 853; Schnotz et al. 1993; Hildebrandt 1996; Ballstaedt 1997; Claaßen 1997a; Lewalter 1997; Maier 1998; Seger 2001: 394ff.; Paine & Kiser 2003; Ustin et al. 2004: 680; Adamina & Wyssen 2005; Alean & Biber 2005; Gerber & Reuschenbach 2005; Neumann-Mayer 2005; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 178f.; McCloy 2006; Hieber & Lenz 2007; Reuschenbach 2007, 2009; Rinschede 2007; Lillesand et al. 2008; Albertz 2009; Campbell & Wynne 2011; Siegmund 2011; Ditter et al. 2012: 220ff.; Hassenpflug 2012: 257; Kaminske 2012; Kollar 2012; Wüthrich 2013; Haspel & Jahn 2014: 63ff.; Röhl o.J.

Quellen in Bezug auf topographische Karten: Bär 1977; Scholz et al. 1983; Kulhavy et al. 1985; Weidenmann 1991b; Kulhavy et al. 1993; Schnotz 1993b, 1994: 122f., 2001, 2002: 71f., 2006: 858; Schnotz et al. 1993; Wallert 1993; Kulhavy & Stock 1996; Ballstaedt 1997; Claaßen 1997a; Gaffga 1997; Lewalter 1997; Maier 1998; Montello 1998; Schmaucks 1998; Schnotz & Bannert 1999; Hüttermann 2001, 2005, 2012a: 192ff., 2012b: 24; Seger 2001: 394ff.; Domnick 2004; Siegmund & Menz 2005; Brucker 2006b: 178f.; Wiegand 2006; Dickmann & Diekmann-Boubaker 2007, 2008, 2010; Rinschede 2007; Clark et al. 2008; Albertz 2009; Lenz 2009, 2012: 197; Diekmann-Boubaker 2010; Gryl et al. 2010; Hemmer et al. 2010; Hemmer et al. 2012: 150; Kaminske 2012

Die Ausführungen in Tabelle 16 fokussieren v.a. das Wesen und den Charakter beider Informationsträger und des Prozesses ihrer visuellen Auswertung. Für eine adäquate vergleichende Betrachtung beider bedarf es zusätzlich eines näheren Blicks auf jene kognitiven Verarbeitungsprozesse, die zu der in Tabelle 16 vorgestellten Wirkung bei der Auswertung führen. Hierfür werden die in Kapitel 2.4.4.2 skizzierten kognitionspsychologischen Theorien und Modelle herangezogen. Sie werden in Tabelle 17 explizit in den Kontext der Bild- bzw. Kartenauswertung gestellt und es werden auf ihrer Basis Annahmen über die jeweilige kognitive Verarbeitung der Bild- bzw. Karteninhalte getroffen.

Tabelle 17: Annahmen über den Ablauf und das Ergebnis der kognitiven Verarbeitung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten gemäß den vorgestellten Theorien und Modellen

Luft- und Satellitenbilder	Topographische Karten
Bezogen auf das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley & Kollegen	
• Bildinhalte werden im visuell-räumlichen System (Visuell-räumlicher Notizblock) verarbeitet und im Episodischen Zwischenspeicher mit Wissen aus dem Langzeitgedächtnis, u.a. mit akustisch-verbalen Informationen, verbunden	• Signaturen werden im visuell-räumlichen System (Visuell-räumlicher Notizblock) verarbeitet und im Episodischen Zwischenspeicher mit Wissen aus dem Langzeitgedächtnis, u.a. mit akustisch-verbalen Informationen, verbunden • Legende/Kartenschrift im akustisch-verbalen System (Phonologische Schleife) verarbeitet und im Episodischen Zwischenspeicher mit Wissen aus dem Langzeitgedächtnis, u.a. auch visuell-räumliche Informationen, verbunden
ANGENOMMENES ERGEBNIS: Verknüpfung der Bildinhalte mit betreffenden akustisch-verbalen Informationen ist in starkem Maße von der Aktivierung der richtigen (zugehörigen) Innformation abhängig	ANGENOMMENES ERGEBNIS: Eine zeitnahe jeweils doppelte Verarbeitung von Signatur und zugehörigen akustisch-verbalen Informationen sowie von Legende/Kartenschrift und zugehörigen visuell-räumlichen Informationen ermöglicht des Aufbau einer komplexen, kohärenten mentalen Repräsentation

Bezogen auf die Multimodale Gedächtnistheorie von Engelkamp & Kollegen	
• Bildinhalte aktivieren im bildlichen Eingangssystem Bildmarken mit objektzentrierter Perspektive und es wird eine Verbindung zum zugehörigen Konzept hergestellt (Bedeutungszuweisung) • Eine gedankliche Benennung durch Aktivierung der betreffenden Wortmarke ist instruktionsabhängig und erfolgt aufgrund des sensorischen Reichtums der Bildinhalte (semantische Mehrdeutigkeit) nur mittelbar über die Assoziation mit dem betreffenden (richtigen) Konzept => zusätzliche konzeptuelle Verarbeitung	• Signaturen aktivieren im bildlichen Eingangssystem Bildmarken mit objektzentrierter Perspektive und es wird eine Verbindung zum zugehörigen Konzept hergestellt (Bedeutungszuweisung) • Eine gedankliche Benennung durch Aktivierung der betreffenden Wortmarke ist instruktionsabhängig und erfolgt aufgrund des sensorischen Reichtums der Bildinhalte (semantische Mehrdeutigkeit) nur mittelbar über die Assoziation mit dem betreffenden (richtigen) Konzept => zusätzliche konzeptuelle Verarbeitung • Legende/Kartenschrift aktivieren im verbalen Eingangssystem visuelle Wortmarken und es wird mittelbar indirekt über Assoziationsprozesse eine Verbindung zum zugehörigen Konzept hergestellt (Bedeutungszuweisung) • Eine mentale visuelle Vorstellung durch Aktivierung der betreffenden Bildmarke ist instruktionsabhängig => zusätzliche konzeptuelle Verarbeitung
ANGENOMMENES ERGEBNIS: • Aktivierung einer Bildmarke kann angesichts der potenziellen semantischen Mehrdeutigkeit sensorisch komplexer Bildinhalte zu deren Fehlinterpretation führen • Erst durch explizite Instruktion kann die (mentale) Benennung der Bildinhalte angeregt werden	ANGENOMMENES ERGEBNIS: Die prinzipielle semantische Mehrdeutigkeit einer Signatur kann durch die Aktivierung der betreffenden Wortmarke anhand der Legende/Kartenschrift präzisiert und dadurch die Aktivierung des richtigen Konzepts sichergestellt werden => größere Sicherheit in Bezug auf die (Wieder-)Erkennung von Signaturen
Bezogen auf die cognitive theory of multimedia learning von Mayer	
Bildinhalte im visuellen Verarbeitungskanal encodiert: visual images => visual image base => Aufbau eines piktoralen mentalen Modells	• Signaturen im visuellen Verarbeitungskanal encodiert: visual images => visual image base => Aufbau eines piktoralen mentalen Modells • Legende/Kartenschrift wechselt vom visuellen in den auditiven Verarbeitungskanal: visual images => visual image base => im Zuge der mentalen Benennung Wechsel in die word sound base => Aufbau eines verbalen mentalen Modells
ANGENOMMENES ERGEBNIS: Ausschließlich im visuellen Verarbeitungskanal erfolgende Encodierung der Bildinhalte ist mit Blick auf den Aufbau einer adäquaten Repräsentation sehr stark vorwissens- bzw. imaginationsabhängig	ANGENOMMENES ERGEBNIS: Piktorales mentales Modell und verbales mentales Modell konstituieren gemeinsam und unter Vorwissensintegration eine stabile, kohärente Gesamtrepräsentation mit übergreifenden referenziellen Verbindungen
Bezogen auf das Modell des multimedialen Lernens von Schnotz & Kollegen	
Bildinhalte führen unter Vorwissenseinfluss zum Aufbau eines mentalen Modells, das mit einer parallel aufgebauten und auf Vorwissen beruhenden depiktionalen propositionalen Repräsentation (Bildbasis) interagiert	• Signaturen führen unter Vorwissenseinfluss zum Aufbau eines mentalen Modells, das mit einer parallel aufgebauten und auf Vorwissen beruhenden depiktionalen propositionalen Repräsentation (Bildbasis) interagiert • Legende/Kartenschrift führt unter Vorwissenseinfluss zum Aufbau einer deskriptionalen propositionalen Repräsentation (Textbasis), die mit einem parallel aufgebauten und ebenso auf Vorwissen beruhenden depiktionalen mentalen Modell der Legende/Kartenschrift interagiert

ANGENOMMENES ERGEBNIS: Aufbau des mentalen Modells und der propositionalen Repräsentation beruht ausschließlich auf Bildinhalten bzw. dem individuellen Vorwissen	ANGENOMMENES ERGEBNIS: Aufbau des mentalen Modells und der propositionalen Repräsentation erfolgt sowohl über Signaturen als auch über Legende/Kartenschrift => Aufbau von stabilen, kohärenten mentalen Repräsentationen

Bezüglich der kognitiven Verarbeitung der Bild- bzw. Karteninhalte sind des Weiteren die in Kapitel 2.4.2.2, 2.4.3.2 bzw. 2.4.4.2 jeweils aufgeführten personalen und externalen Variablen zu berücksichtigen, die potenziell einen Einfluss ausüben können (Tabelle 18).

Tabelle 18: Variablen der visuellen Auswertung piktoraler Informationsträger

Personale Variablen
• Individuelle Kapazität des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses
• Subjektive (metakognitive) Einschätzung des Konstruktions-/Nutzungsaufwands bzw. aktuelle Zielsetzung
• Intellektuelle Fähigkeiten wie Vergleichen, Erinnern, Abstrahieren, Assoziieren, Schlussfolgern
• Beherrschung metakognitiver Lernstrategien: Strukturierung, Selektion, Organisation etc.
• Räumliche Intelligenz bzw. räumliches Denken
• Allgemeines visuelles Wissen, darstellungsspezifisches (Code-)Wissen bzw. deklaratives und prozedurales Wissen
• Bereichsspezifisches bzw. allgemeines Weltwissen
• Regionsspezifisches Wissen, ggf. in Form konkreter Ortskenntnisse
• Erfahrung/Vertrautheit (im Umgang) mit dem Informationsträger
• Motivation bzw. Interesse: dispositional bzw. situational
• Selbstwirksamkeitserwartung/Selbstkonzept in Bezug auf die Auswertung
• Alter bzw. Geschlecht
• Verbale Kompetenzen: Lesen, Versprachlichen des Gesehenen
• Orientierungskompetenz auf dem Informationsträger
• Mathematische Kompetenz
• Physisches Seh-/Wahrnehmungsvermögen: z.B. Rot-Grün-Sehschwäche
• Fähigkeit zum mentalen Wechsel zwischen Zweidimensionalität (Bild/Karte) und Dreidimensionalität (Erdraum)
• Fähigkeit zum mentalen Perspektivenwechsel bzw. zur mentalen Reduktion der Größe realer Objekte
Externale Variablen: Lernmaterial (repräsentationsspezifisch)
• Art der kartographischen Darstellung bzw. des Luft- und Satellitenbildes
• Inhaltlich-strukturelle Komplexität
• Gestaltungsaspekte: u.a. Perspektive, Farbgebung, Repräsentationsmittel, Kontur, Schattierung, Proportionen, Differenzierbarkeit, Anschaulichkeit/Abstraktheit von Inhalten
• Klarheit der Legende bzw. Kohärenz zwischen Karte und Legende
• Bildqualität/räumliche Auflösung bzw. Kartenmaßstab
• Absolute Größe des Bild- bzw. Kartenausschnitts
Externale Variablen: Lernsituation (anforderungsspezifisch)
• (Didaktischer) Kontext der Auswertung
• Aufgabenstellung: Zielsetzung, Zielgerichtetheit/Adäquatheit, Operatoren, Kompetenzstufe (benötigte Verfahrensweisen) im Verhältnis zum Komplexitätsniveau des Informationsträgers, Hinweise, Steuerungsgrad (kleinschrittig bis selbstständig mit methodischen Hilfestellungen)
• Verfügbare Zeit für die Auswertung
• Steuerungscodes zur Aufmerksamkeitsfokussierung: u.a. bei digital animierten Bildern (digitale Zoom-Funktion), direktive sprachliche Instruktionen, vergrößerte Ausschnitte, Pfeile, Bildlegenden, Bildüberschriften, Begleittexte
• Gleichzeitige Verfügbarkeit von Bild und Text (Legende)
• Präsentationsform (analog, digital)
• Animationen zur Visualisierung von (Eigen-)Dynamik
Sonstige externale Variablen
• Klasse im Verhältnis zu anderen Klassen dergleichen Schule bzw. von anderen Schulen

Eine zusammenfassende Betrachtung der Ausführungen und Annahmen in den drei Tabellen deutet auf Gemeinsamkeiten wie auch auf mehr oder weniger stark zum Tragen kommende Differenzen bei der kognitiven Verarbeitung hin. Diese werden nachfolgend im Einzelnen ausführlich betrachtet.

Grundlegende Gemeinsamkeiten

Im Rahmen der visuellen Auswertung können bei beiden Informationsträgern die hinter den Bild- bzw. Karteninhalten stehenden realen Sachverhalte und Raumstrukturen mental erschlossen, quantitative wie qualitative Aussagen über sie getroffen und darauf basierend vorwissensbedingt eine mentale Vorstellung über den repräsentierten Erdraum (weiter-)entwickelt werden. Durch ihr chorographisches/chorologisches Wesen lässt sich jeweils das angeeignete räumliche Wissen im Sinne einer Bildmarke nach Engelkamp (1991) verstehen, die einen Erdraum in seiner Gesamtheit wie auch in seinen Einzelheiten (Lage, Distanzen und Relationen einzelner Sachverhalte) wiedergibt. Zurückzuführen ist dies auf die kognitive Verarbeitung, bei der die ganzheitlich-analoge Codierung durch Abbildung der strukturellen Beziehungen auf die mentale Repräsentation erfolgt (vgl. Kapitel 2.4.4.2).

Bei der Betrachtung unter systemanalytischen Gesichtspunkten lassen sich Bild- bzw. Karteninhalte jeweils als systemrelevante Informationen begreifen und für die (Weiter-)Entwicklung des mentalen Systemmodells heranziehen. Die identifizierten Bildinhalte bzw. die decodierten Karteninhalte können als Indikatoren für systemrelevante Sekundärinformationen genutzt werden, an die ggf. die gedankliche Erschließung der Tertiärinformationen anknüpft. Inwiefern die Bild- bzw. Karteninhalte mit dem System mental in Verbindung gebracht werden bzw. als Hinweis auf dieses begriffen werden, stellt bei beiden eine selbst zu erbringende mentale Leistung dar. Wie gut diese Bewusstwerdung bzw. dieser Selektionsprozess (vgl. Kapitel 3.3) gelingt, ist bei beiden Auswertungsprozessen zu einem starken Maße vom bereichsspezifischen Systemwissen sowie vom deklarativen und prozeduralen bzw. allgemeinen und spezifischen Wissen über den jeweiligen Informationsträger und die Informationsgewinnung aus diesem abhängig. Der häufigere unterrichtliche Karteneinsatz lässt eine weitaus größere Vertrautheit im Umgang mit diesem Medium erwarten, weshalb zu Beginn der Oberstufe (Kursstufe) ein ausreichendes Kartenwissen vorliegen sollte.

Über diese Variablen hinaus wird jeweils die vorteilhafte Wirkung von regionsspezifischem Wissen hervorgehoben und es werden in Bezug auf beide Medien Motivation/Interesse sowie metakognitive und intellektuelle Fähigkeiten als bedeutsame Einflüsse gesehen. Auch eine angemessene räumliche Intelligenz bzw. ein angemessenes räumlichen Denken wird jeweils hervorgehoben. Die o.g. Variablen werden um eine Reihe weiterer ergänzt, die auf die visuelle Auswertung einwirken können. Zu ihnen gehört u.a. die Rot-Grün-Sehschwäche, die bei der jeweiligen Auswertung hemmend wirken kann, wobei dies v.a. bei Luft- und Satellitenbildern relevant sein sollte, da die Legende/Kartenschrift weiterhin als objektive Erläuterung genutzt werden kann.

Luft- und Satellitenbilder im Speziellen

Als realistische Bilder stellen Luft- und Satellitenbilder ein informationsreiches Abbild der Wirklichkeit dar, dessen äußerst komplexes Wesen hohe Anforderungen an die kognitive Verarbeitung stellt. Dies betrifft v.a. die Wahrnehmung und Differenzierung der Wahrnehmungsentitäten/Bildgestalten, die sich mitunter nur durch feine Nuancen bei Grau-/Farbwerten voneinander unterscheiden (lassen). Die Wahrnehmbarkeit und Differenzierbarkeit von Bildinhalten ist von der Raumauflösung und der Bildkomplexität abhängig; Aufnahmebedingungen sowie die Spektralauflösung bilden weitere Einflussfaktoren. Bildinhalte können umso unklarer bleiben, je komplexer und kontrastärmer eine Aufnahme ist, sodass sensorisch ähnliche Reize bezüglich Grau-/Farbwert, Größe, Form, Orientierung etc. Interferenzeffekte auslösen können. Durch das Fehlen einer semantisch eindeutigen Legende/Beschriftung

können besonders bei einer hohen inhaltlich-strukturellen Bildkomplexität bzw. bei unnatürlicher Farbgebung (Falschfarbenbilder) Bildinhalte mehrdeutig oder unverständlich bleiben, insbesondere dann, wenn nur wenig Vorwissen bzw. nur wenige Vorerfahrungen mit der visuellen Auswertung vorhanden sind. Auch die von Reuschenbach (2007) angesprochene selektionierte Wahrnehmung innerhalb des Auswertungskontextes kann durch mehrdeutige Bildinhalte (vgl. hierzu die Theorie von Engelkamp & Kollegen in Kapitel 2.4.4.2) u.U. erschwert oder ggf. unterbunden werden. Insgesamt trägt die visuelle Auswertung einen stark subjektiven Charakter, der einen Interpretationsspielraum offen lässt. Dieser ist umso größer, je geringer das Vorwissen bzw. die Vorerfahrungen sind (vgl. Kapitel 2.4.2.2). Der subjektive Charakter hängt gemäß den Annahmen in Tabelle 17 z.T. damit zusammen, dass die Encodierung ausschließlich über den ganzheitlich-analogen Code erfolgt und die (Wieder-)Erkennung im Sinne der Aktivierung bzw. Zuweisung des betreffenden Konzepts/Schemas und die damit verbundene Benennung ausschließlich vom individuellen Vorwissen bzw. Vorstellungsvermögen abhängt. Dies bezieht sich u.a. darauf, Sachverhalte bei einem Blickwinkel von oben in ihrem Aussehen zu kennen – oder sich zumindest deren Aussehen vorstellen zu können. Hierzu bedarf es Erfahrungen bzw. bei mangelndem Vorwissen eines ausgeprägten Vorstellungsvermögens, anhand derer/dessen über ausschlussbasierte Identifizierungsversuche nicht evidente Bildinhalte erschlossen werden. Die Stabilität und v.a. Korrektheit derartiger Identifizierungsversuche scheint v.a. bei einer geringen Vertrautheit mit der Auswertung fragwürdig.

Bei der Auswertung ist die Fähigkeit zum mentalen Perspektivenwechsel gefordert, die mit der mentalen Rotation von Sachverhalten, etwa im Kontext der objektzentrierten Bildmarken bei Engelkamp & Kollegen (vgl. Kapitel 2.4.4.2), zusammenhängt[64]. Bekannte Bildinhalte können auf der Basis ökologischer Schemata erschlossen werden; zudem kann induktives semantisches Lernen einsetzen. Da das natürliche Bildverstehen, d.h. das Verständnis evidenter Bildinhalte ohne ein speziell angelerntes repräsentationsspezifisches Wissen möglich ist, vermitteln Luft- und Satellitenbilder das Gefühl von universaler Lesbarkeit. Diese Empfindung kann besonders bei Echtfarbenbildern durch die natürliche Farbgebung zu einer intensiveren Auseinandersetzung anregen, während bei Falschfarbenbildern ein zusätzliches vorwissensbasiertes Umdenken im Farbbereich notwendig ist. Letzteres kann, v.a. bei fehlendem Vorwissen, die Aktivierung des betreffenden ökologischen Schemas erschweren[65]. Hinsichtlich der positiven Wirkung der universalen Lesbarkeit kommt Wastl (2000) in seiner Untersuchung zu dem Schluss, dass bei fehlendem Vorwissen Luftbilder aufgrund ihrer gewohnteren, naturgetreueren Repräsentationsweise für die Proband/innen besser geeignet gewesen seien als abstraktere Karten, die bei einem entsprechenden Kartenwissen wiederum effektiver als Informationsgrundlage eingesetzt werden konnten (vgl. Kulhavy & Stock 1996).

Topographische Karten im Speziellen

Durch die klare und übersichtliche Informationsdarstellung, die maßstabsgerecht und zweckorientiert unter Verwendung klassifizierter, normierter und distinkt-diskrete Signaturen auf einem weißen Hintergrund erfolgt, wird eine hohe Wahrnehmbarkeit/Differenzierbarkeit der repräsentierten Rauminformationen sichergestellt. Im Kontext der Theorien und Modelle in Tabelle 17 deutet das zusätzliche

[64] Da bei der Betrachtung von Karten die gleiche Perspektive eingenommen wird, sollten auch bei ihnen die gleichen mentalen Prozesse von Bedeutung sein. Dies könnte jedoch gerade deshalb nicht der Fall sein, da v.a. abstrakt-geometrische Signaturen als wenig realistisch wahrgenommen werden und aufgrund dessen kein Versuch zum mentalen Perspektivenwechsel angeregt wird. Des Weiteren sind Signaturen und ihre Bedeutung u.U. bereits bekannt bzw. es kann erfahrungsbasiert die Legende/Kartenschrift als Hilfe für die Decodierung genutzt werden.

[65] Sobald das entsprechende Konzept/Schema aktiviert ist, sollte es jedoch möglich sein, auf den in seinem Zusammenhang stehenden Informationsreichtum aus persönlichen Alltagswahrnehmungen zurückgreifen zu können.

Vorhandensein der semantisch eindeutigen verbalen Repräsentationsart darauf hin, dass diese zu einer zusätzlichen kognitiven Verarbeitung (Encodierung) im digitalen Code führt, aus der zusammen mit dem analogen Code eine stärkere und stabilere mentale Repräsentation der Karteninhalte hervorgehen sollte. Dies stimmt überein mit Erkenntnissen aus der Kognitionspsychologie über die Wirkung der multiplen Encodierung für eine tiefgreifende Verarbeitung (vgl. Kapitel 2.3.1) und findet Unterstützung in der *conjoint retention hypothesis*[66] (Kulhavy et al. 1985; Kulhavy et al. 1993; Kulhavy & Stock 1996). Der Kartenauswertung liegt damit auf der Ebene der kognitiven Verarbeitung der Primärinformationen ein objektiver Charakter zugrunde, der bei adäquater Auseinandersetzung mit der Legende/Kartenschrift keinen Interpretationsspielraum offenlässt.

Für das Verständnis der Signaturen ist semiotisches Wissen (Graphik-Schemata), v.a. bei den abstrakt-geometrischen mit geringem Assoziationsgrad, notwendig. Nicht aus sich selbst heraus verständliche Signaturen erfordern prozedurales Kartenwissen über die Nutzung der Legende/Kartenschrift, deren semantische Eindeutigkeit die Aktivierung des betreffenden Konzepts/Schemas ermöglicht und den repräsentierten Sachverhalt hinter der Signatur verständlich werden lässt. Das dafür notwendige allgemeine prozedurale Kartenwissen sollte von Kursstufenschüler/innen prinzipiell erwartet werden können. Da es sich bei topographischen Karten um einen unterrichtlich weniger häufig eingesetzten Kartentyp handelt, könnte ein unzureichendes Maß an spezifischem Kartenwissen auf die visuelle Auswertung negativ einwirken, insbesondere dann, wenn auch das prozedurale Kartenwissen unzureichend ausgeprägt ist. Während der Einsatz in unteren Klassenstufen wegen des höheren Bedarfs an spezifischem Kartenwissen nach Dickmann & Diekmann-Boubaker (2007) bzw. Diekmann-Boubaker (2010) nur selten erfolgt, verweist Claaßen (1997b) auf die Möglichkeit zu ihrer Verwendung in der oberen Sekundarstufe I unter Herstellung eines direkten Lebensweltbezugs. Im aktuellen Bildungsplan für den Kompetenzerwerb im Fach Geographie an baden-württembergischen Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004) werden topographische Karten ausdrücklich als Hilfsmittel zur Informationsgewinnung am Ende der Sekundarstufe I aufgeführt; in den Bildungsstandards im Fach Geographie (DGfG 2012) wird ihre Auswertung gefordert. In Bezug auf Kursstufenschüler/innen sollte davon ausgegangen werden können, dass eine grundlegende Vertrautheit mit diesem spezifischen Kartentyp (zumindest ansatzweise) vorliegt. In dieser Hinsicht zu beachten ist, dass bei der wiederholten schulischen Auseinandersetzung mit einem bestimmten Kartentyp wie z.B. den thematischen Karten eine Vorprägung auf die darin verwendeten Signaturen einsetzen kann, die als allgemeingültig (typisch) wahrgenommen und internalisiert werden (vgl. Kapitel 2.4.3.2). Bei der Auseinandersetzung mit einem anderen Kartentyp, wie den topographischen Karten, kann dies zu falschen Schlussfolgerungen führen, wenn die Hinzuziehung der Legende/Kartenschrift unterlassen wird, weil Signaturen als vermeintlich bekannt wahrgenommen werden (flüchtiger Blick) und die zu einer Signatur gehörende Erläuterung als ein alternatives Informationsangebot zum eigenen, vermeintlich bereits bekannten Wissen über die Signaturbedeutung empfunden wird (vgl. Kapitel 2.4.4.2).

[66] Die Hypothese geht von der assoziativen Verknüpfung und dem vereinten Festhalten (conjoint retention) der formatspezifisch encodierten piktoralen bzw. verbalen Informationen im Langzeitgedächtnis aus. Im Zuge interagierender Aktivierungsprozesse wird ein Zugriff auf Karteninhalte sowohl über den analogen als auch über den digitalen Code ermöglicht, wodurch diese mit erhöhter Wahrscheinlichkeit wieder ins Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis zurückgerufen werden können. Diese Annahme ist vereinbar mit den referenziellen Verbindungen bei Paivio, den im Episodischen Zwischenspeicher zusammengesetzten mentalen Repräsentationen bei Baddeley & Kollegen, der zusammengesetzten Gesamtrepräsentation mit übergreifenden referenziellen Verbindungen bei Mayer und der Interaktion zwischen der propositionalen Repräsentation und dem mentalen Modell bei Schnotz & Kollegen (vgl. Kapitel 2.4.4.2).

Luft- und Satellitenbilder im Verhältnis zu topographischen Karten

Nicht zuletzt auch aufgrund der größeren Vertrautheit mit der Kartenauswertung im Allgemeinen lässt sich angesichts des objektiveren Auswertungscharakters und der zu erwartenden stärkeren/stabileren mentalen Repräsentation der Karteninhalte gegenüber den Bildinhalten theoretisch ein Vorteil für die Kartenauswertung annehmen. Hieraus lassen sich wiederum differenzierte Auswirkungen auf die gedankliche Erschließung der Bild- bzw. Karteninhalte als Indikatoren für implizite Sekundär-/Tertiärinformationen erwarten und auf die Elaboriertheit des (weiter-)entwickelten mentalen Systemmodells bzw. des in den kognitiven Strukturen festgehaltenen Systemwissens übertragen.

Ein einschränkender Punkt seitens der Kartenauswertung betrifft die Decodierung der abstrakt-geometrischen Signaturen, die keinen Aufschluss über das tatsächliche Aussehen geben. Außer bei sehr großen Maßstäben mit Grundrissdarstellung (DGK 5) liefern topographische Karten, wie Karten allgemein, keine Informationen über das reale, eigentümliche Aussehen von Sachverhalten. Damit erschweren ihre abstrakt-geometrischen Signaturen den Aufbau eines möglichst konkreten, realistischen Vorstellungsbildes. Angelehnt an Baddeley & Kollegen bzw. Engelkamp & Kollegen bedeutet dies, dass sie zwar die kognitive Verarbeitung ihrer räumlich-strukturellen Informationen ermöglichen (räumliche Komponente), in Bezug auf die visuelle Komponente wegen der Abstraktheit jedoch nur die Generierung eines allgemeineren Vorstellungsbildes zulassen, das aus einem gemittelten (typischen) bzw. individuell bekannten Aussehen hervorgeht (vgl. Kapitel 2.4.4.2). Bei einem hohen Anteil an abstrakten Signaturen verbleiben diese Karten in ihrer Wahrnehmung deshalb eher auf einer abstrakten, sachlich-informativen Kommunikationsebene, die einen geringeren Realitätseindruck vermittelt und in Anlehnung an Wastl (2000) insgesamt weniger ästhetisch-emotional ansprechend wirkt. Von Hieber et al. (2009) werden topographische Karten, wie alle Kartentypen, in der Folge ausschließlich als räumlich-orientiertes Medium bezeichnet. Dass sich die Abstraktheit nicht nur auf das Vorstellungsbild, sondern bei einem geringen Kartenwissen auch auf den (Wieder-)Erkennungsprozess selbst negativ auswirken kann, hat die Studie von Wastl (2000) gezeigt: in ihr gelang unerfahrenen Proband/innen mit geringem Kartenwissen die Objektidentifizierung anhand der ikonischen Zeichen in Luftbildern besser als über die z.T. unbekannten abstrakten Signaturen in Strichkarten.

Luft- und Satellitenbilder zeichnen sich durch ihre Eigenschaft aus, als Wirklichkeitsabbilder nicht nur räumlich-strukturelle Übereinstimmungen zum repräsentierten Erdraum aufzuweisen, sondern darüber hinaus auch einem Einblick in das reale Aussehen der darin vorkommenden Sachverhalte zu geben. Bei einer hohen Raumauflösung kann sich daraus eine detaillierte und äußerst realistisch anmutende mentale Raumvorstellung ergeben, bei der das tatsächliche Aussehen (reale Farbe, Größe, Form, innerer Aufbau) bei der Encodierung über den ganzheitlich-analogen Code in die kognitive Übersichts-/Überblickskarte integriert wird. Hieber et al. (2009) bezeichnen geringer aufgelöste Satellitenbilder (deshalb) nicht nur als räumlich-orientiertes, sondern zusätzlich auch als vorstellungsbildend-anschauliches Medium; Letzteres gilt den Autoren zufolge für Senkrechtluftbilder (Orthofotos). Die o.g. Wirkung geht u.a. aus der gewohnten und (deshalb) als realistisch empfundenen Farbgebung von Echtfarbenbildern hervor. Ungewohnte und auf den ersten Blick unverständlich erscheinende Falschfarbenbilder können hingegen in einem künstlerisch-ästhetischen Sinne ebenfalls emotional ansprechend wirken, z.B. bei leuchtenden Farben oder besonderen Farbkombinationen, und einen motivationalen Anreiz für eine intensivere Auseinandersetzung mit ihnen liefern (vgl. Wastl 2000). Verstärkt wird diese Wirkung bei hochaufgelösten Bildern zusätzlich durch die Perzeption von Licht-und-Schatten-Effekten, die den perspektivischen Eindruck von Dreidimensionalität und damit Räumlichkeit vermitteln, während die zwei Dimensionen der Kartenebene kein derartiges Gefühl aufkommen lassen. Insgesamt können Luft- und hochaufgelöste Satellitenbilder den Eindruck vermitteln, einen

konkreten Einblick in den Ist-Zustand eines Erdraums zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.4.2.2). Sie wirken wie ein Fenster in den Erdraum, während die topographischen Karten, wie alle Kartentypen, die mental schwerer zu fassenden durchschnittlichen Gegebenheiten eines bestimmten Zeitraums wiedergeben (vgl. Kapitel 2.4.3.2).

Die allgemein positive Wirkung eines größeren Maßstabs auf die visuelle Auswertung hat sich bei Wastl (2000) sowohl bei Luftbildern als auch bei Karten gezeigt. Im Kontext der o.g. Ausführungen lässt der Eindruck von Dreidimensionalität (Räumlichkeit) in Kombination mit dem Realitätsempfinden vermuten, dass Luft- und Satellitenbilder im Vergleich zu topographischen Karten in einem höheren Maße zu einer vertieften Auseinandersetzung anregen. Dem vermag das mit hohen mentalen Anforderungen verbundene komplexe Wesen ersterer u.U. nur z.T. entgegenzuwirken. Neben den sich aus den Eigenschaften von Luft- und Satellitenbildern heraus ergebenden Anreizen könnte des Weiteren der zu erwartende Umstand, dass der Umgang mit ihnen im Vergleich zu Karten allgemein bzw. zu topographischen Karten im Besonderen i.d.R. ungewohnter ist, ein weiterer Grund dafür sein, dass ein größeres Interesse an der Arbeit mit ihnen bestehen kann. Inwiefern der in der Fernerkundungsdidaktik angeführte faszinierende Hauch von exotischer Weltraumtechnik (vgl. Kapitel 2.4.2.2) diese Wirkung noch verstärkt, erscheint angesichts der zunehmend ubiquitären Präsenz in der Öffentlichkeit (etwas) fraglich.

Abschließend ist zu bedenken, dass sich das Interesse und die Motivation zur Auseinandersetzung mit einem Medium derart auswirken können, dass u.U. seine Einsatzmöglichkeiten untererschätzt und die eines anderen Mediums überschätzt werden, wie die Studie von Wastl (2000) ergeben hat: Aufgrund eines allgemein größeren Interesses an Luftbildern sind die Möglichkeiten ihres Einsatzes von Proband/innen häufiger überschätzt worden, während die des Einsatzes von Strichkarten eines vergleichbaren Maßstabs umgekehrt vielfach unterschätzt wurden.

Zusammenfassung und Fazit

Die Kombination aus piktoraler und verbaler Repräsentationsart bei topographischen Karten, die zu einer stärkeren und stabileren mentalen Repräsentation führen sollte, sowie der objektive Charakter ihrer visuellen Auswertung lässt zunächst auf einen Vorteil gegenüber den weniger gewohnten Luft- und Satellitenbildern mit ihren z.T. mehrdeutigen Bildinhalten schließen. Aufgrund der rein sachlich-informativen, abstrakt-reduzierend wirkenden Repräsentationsweise vermitteln topographische Karten im Verhältnis zu Luft- und Satellitenbildern einen geringeren Räumlichkeits-/Realitätseindruck und eine geringere ästhetisch-emotionale Wirkung. Ein sich daraus potenziell ergebender geringerer Anreiz zur Auseinandersetzung mit ihnen könnte zusammen mit der Tatsache, dass Signaturen vermeintlich bekannt zu sein scheinen und die Nutzung der Legende/Kartenschrift deshalb unterlassen wird (flüchtiger Blick), zu einer oberflächlicheren visuellen Auswertung führen.

Die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern wiederum ist wegen der fehlenden semantisch eindeutigen Erläuterung stark subjektiv geprägt und mit einem größeren Interpretationsspielraum behaftet. Neben bereichsspezifischem Vorwissen entscheiden zahlreiche personale sowie u.a. bildbezogene externale Variablen darüber, wie gut Bildinhalte identifiziert werden können oder wie unverständlich und mehrdeutig sie bleiben. Gleichwohl lassen sie sich sich ohne ein speziell angelerntes Wissen z.T. universell lesen. Ihr teilweise komplexes Wesen kann ein ausreichendes Maß an mentaler Herausforderung bieten, das bei einem zeitgleich entsprechend großen Anreiz zur inhaltlichen Auseinandersetzung in die subjektive Bereitschaft zur visuellen Auswertung münden kann. Verstärkt wird dies durch den perspektivischen Eindruck von Räumlichkeit, das realistisch anmutende Gefühl bei einer hohen Raumauflösung und das aus beiden hervorgehende Wissen, einen Erdraum in seinem tatsäch-

lichen Ist-Zustand zu sehen. Unter Umständen nimmt gerade die Tatsache, dass keine abstrakten graphischen Zeichen betrachtet werden, sondern dass reale Sachverhalte als solche in ihrer realen Komplexität (detailliert) von oben wahrgenommen werden, einen (unter-)bewusst nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die subjektive Bereitschaft zur tiefgründigen Beschäftigung mit ihnen. Das vorstellungsbildend-anschauliche Wesen lässt in Kombination mit dem selteneren unterrichtlichen Einsatz deshalb auf eine etwas größere Motivation gegenüber den topographischen Karten schließen. Ob daraus differenzierte Auswirkungen auf die Leistung im Bereich der verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE resultieren, oder ob ggf. eine Überschätzung wie bei Wastl (2000) einsetzt, ist nicht einschätzbar.

Angesichts der mit beiden Medien in Verbindung zu bringenden positiven wie negativen Aspekte ist zu erwarten, dass bei grundlegenden methodischen Kenntnissen mit ihnen u.U. eine gleich gute Leistung erbracht werden kann. Aus diesem Grund wird die zweite Forschungsfrage allgemein formuliert:

> **Forschungsfrage 2**: ***Bestehen bei grundlegenden methodischen Kenntnissen Unterschiede in der Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE zwischen der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern einerseits und der von topographischen Karten andererseits?***

Durch das nicht eindeutige Verhältnis der beiden Medien kann weder eine gerichtete, noch eine hinsichtlich der Effektstärke spezifische Hypothese formuliert werden[67]. Es wird daher von der folgenden ungerichteten und unspezifischen Forschungshypothese ausgegangen[68]:

> **H_2*: Bei grundlegenden methodischen Kenntnissen unterscheidet sich die Verbesserung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE durch die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern im getrimmten Mittel nicht signifikant von der Verbesserung dieser Fähigkeiten durch die visuelle Auswertung von topographischen Karten.***

Zur Überprüfung der unspezifisch-ungerichteten H_2 bedarf es einer Aufgliederung in mehrere Teilhypothesen mit Bezug zu den einzelnen Fähigkeiten, auf deren Grundlage die Gesamtbeurteilung vorgenommen wird:

> ***Bei grundlegenden methodischen Kenntnissen unterscheidet sich die Verbesserung der Fähigkeit, …, durch die visuelle Auswertung von Luft- und Satellitenbildern im getrimmten Mittel nicht signifikant von der Verbesserung dieser Fähigkeit durch die visuelle Auswertung von topographischen Karten.***
>
> **$H_{2.1}$: *… die Systemgrenze zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.2}$: *… die Systemelemente zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.3}$: *… die Beziehungen zwischen den Systemelementen zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.4}$: *… die Systemprozesse zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.5}$: *… die innere Systemstruktur zu identifizieren …***

[67] Implizit wird folglich von einer signifikanten Verbesserung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE im Zuge der visuellen Auswertung von topographischen Karten ausgegangen.

[68] „*Kann nicht klar entschieden werden, ob der Sachverhalt besser durch eine gerichtete oder eine ungerichtete Hypothese erfasst wird, muss in jedem Fall zweiseitig getestet werden*." (Bortz & Schuster 2010: 105), d.h. es ist eine ungerichtete Hypothese vorzuziehen (vgl. Rasch et al. 2014a).

Die sich aus den o.g. Teilhypothesen in dieser Arbeit ergebenden und zu prüfenden statistischen Hypothesen sind Gegenstand von Kapitel 4.

Sollten signifikante Unterschiede bei der Entwicklung der Fähigkeiten bestehen (Falsifizierung der H_2), stellt sich die Frage, ob diese ausschließlich durch die (Auswertung der) Medien selbst hervorgerufen werden oder ob möglicherweise eine oder mehrere der Variablen aus Tabelle 10, Tabelle 12 bzw. Tabelle 18 in diesem Zusammenhang moderierend wirksam sind. Es erscheint aus diesem Grund erforderlich, explorativ zu ermitteln, ob Differenzen bei den Fähigkeiten statistisch mit Unterschieden im Bereich der personalen Variablen einhergehen. Bei einer Falsifizierung der H_2 wird deshalb der nachfolgend vorgestellten Forschungsfrage nachgegangen:

> **Optionale Forschungsfrage 3 (bei Falsifizierung der H_2):** ***Welche Variablen moderieren signifikante Unterschiede in der Entwicklung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE zwischen den beiden Medien?***

Der für die Beantwortung der Forschungsfrage 3 gewählte Ansatz wird in Kapitel 4 vorgestellt.

4 Forschungsmethodischer Ansatz

> *„ASSESSMENT in the context of education refers to the process of characterizing what a student knows [1].* […] *Finding an appropriate assessment tool is a central challenge in designing an assessment approach [2], [3]. The difficulty arises because of the diversity of learning objectives [4], the diversity in what counts as evidence of learning [1], the diversity of tools available [2], the varying resources available, and the varying assessment contexts*." (Turns et al. 2000: 164)

Das Forschungsinteresse dieser Arbeit bezieht sich auf die zu untersuchende Wirksamkeit von digitalen Luft- und Satellitenbildern bezüglich der Anwendung der verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE aus Kapitel 3.1. Konkret steht die Frage im Vordergrund, inwiefern es Kursstufenschüler/innen bei grundlegenden methodischen Kenntnissen gelingt, auf der Grundlage der in Luft- und Satellitenbildern abgebildeten Inhalte unter Anwendung dieser Fähigkeiten ein mentales Systemmodell aufzubauen bzw. das bereits bestehende daran anzupassen. Innerhalb der drei Bezugsdimensionen erfordert dies die Identifikation der spezifischen Merkmale des Systems Braunkohleabbau, indem die visuell repräsentierten Primärinformationen als systemrelevant erkannt und als bildinterne Indikatoren für systemrelevante Sekundärinformationen begriffen werden sowie in darauf aufbauenden, weiterführenden Gedanken über das im Bild Sichtbare hinaus systemrelevante Tertiärinformationen erschlossen werden.

Während die visuelle Auswertung der verwendeten Luft- und Satellitenbilder die unabhängige Variable (UV) darstellt, beschreiben die einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE abhängige Variablen (AVs), auf deren situations-/kontextgebundene Ausprägung über das in CMs repräsentierte Systemwissen geschlossen wird (Abbildung 19), das den Gegenstand empirischer Erhebung darstellt. Auf die Wirkung der UV auf die AVs können potenziell verschiedene personale bzw. externale Variablen und Einflüsse (Kapitel 4.2) einwirken, die z.T. durch Fragebögen erhoben (Kapitel 4.3.2) und bei Falsifizierung der H_2 auf ihre moderierende Wirkung hin untersucht werden.

Für die empirische Untersuchung der Forschungsfragen und die Überprüfung der damit verbundenen Forschungshypothesen wurde nach einer Pilotierung (Kapitel 4.1) das in Abbildung 20 dargestellte Forschungsdesign angewendet (Jahn et al. 2015: 355ff.). In einer für zwei Testgruppen entwickelten Interventionseinheit[69] (Kapitel 4.4) wurden von einer Untersuchungsgruppe (UG) digitale Luft- und Satellitenbilder visuell ausgewertet, während eine Vergleichsgruppe (VG) digitale topographische Karten als Auswertungsgegenstand verwendete. Bis auf die abschließende Diskussion sind alle Phasen des Designs bzw. alle Bestandteile der Einheit für die Untersuchung von Bedeutung. Beiden Gruppen lagen bis auf das jeweilige Medium und ein dadurch inhaltlich abweichendes Methodentraining (Kapitel 4.4.1.5) identische Testbedingungen zugrunde, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die drei entwickelten Methodentrainings wurden derart gestaltet, dass sie für beide Testgruppen möglichst

[69] Mit dem Design der Einheit verbundene Auswirkungen auf die interne, externe und Konstruktvalidiät sind auf die Validitätsgefährdungen in Shadish et al. (2002) bzw. Bortz & Döring (2006) hin geprüft worden (siehe Tabelle 21).

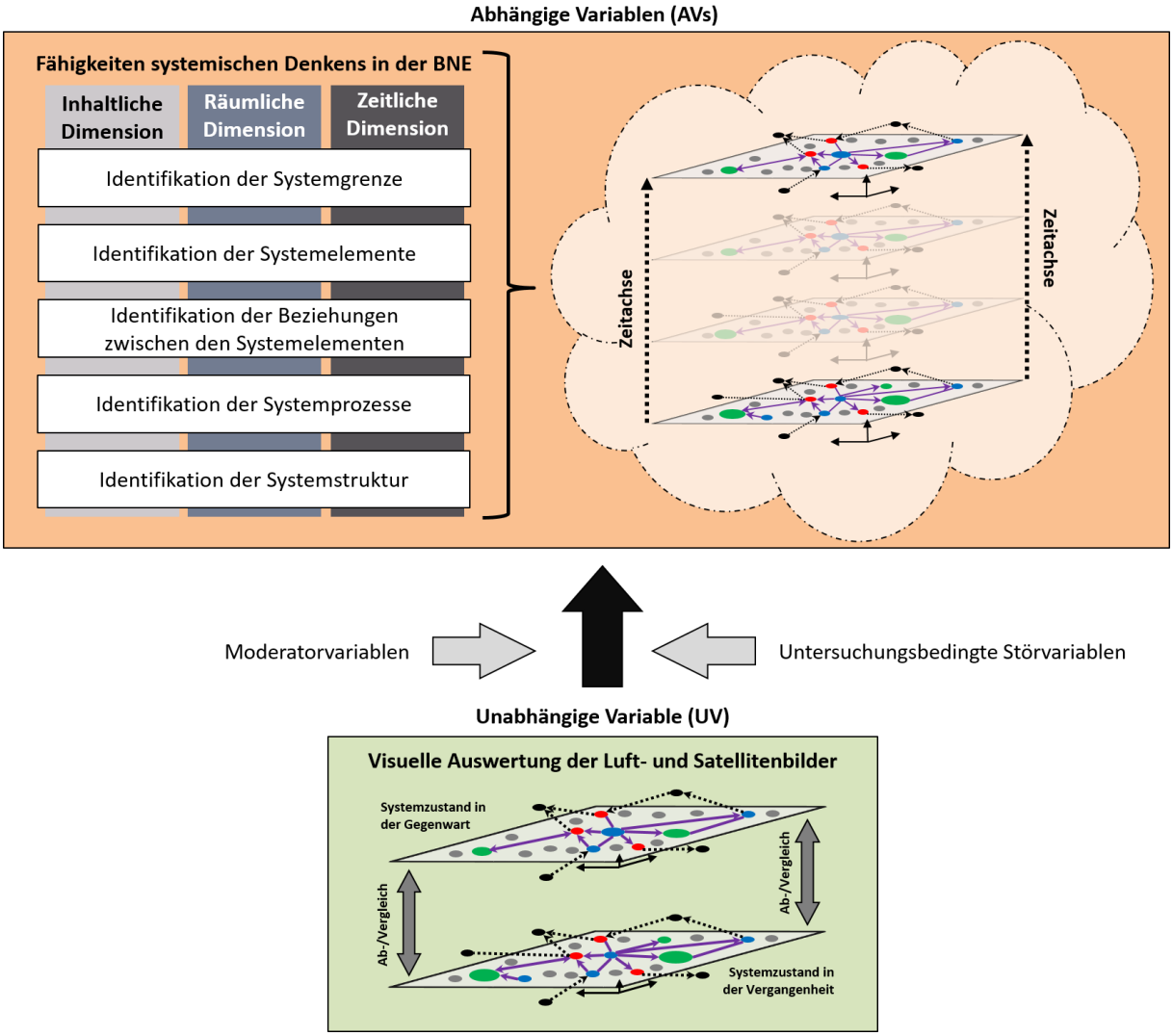


Abbildung 19: Schematische Darstellung der untersuchten Wirkung der visuellen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (UV) auf die Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE (AV) (eigene Darstellung)

identische Inhalte wiederholen und eine Möglichkeit zur mentalen Fokussierung auf die jeweils bevorstehende Aufgabe bieten: Das Methodentraining zur Nachhaltigkeitsthematik dient der Vorbereitung auf die Auseinandersetzung mit dem System Braunkohleabbau unter dem Gesichtspunkt der drei Nachhaltigkeitsdimensionen (Kapitel 4.4.1.2). Das Methodentraining zum Concept Mapping ist darauf ausgerichtet, Einflüsse, die die Methode selbst auf die Wissensexternalisation/-repräsentation ausübt, zu minimieren (Kapitel 4.4.1.3). Das Methodentraining zum jeweiligen Auswertungsmedium intendiert die Reaktivierung des für die Auswertung notwendigen repräsentationsspezifischen/methodischen Wissens (Kapitel 4.4.1.5). Dass Proband/innen von diesem Training u.U. individuell profitierten, ist aufgrund des Forschungsinteresses deshalb unproblematisch, weil explizit untersucht wird, ob die visuelle Auswertung die Anwendung der einzelnen Fähigkeiten ermöglicht, wenn grundlegende methodische Kenntnisse vorliegen. Es wird somit nicht die Wirksamkeit untersucht, wie sie sich aus den Bedingungen vor der Intervention ergibt, sondern wie sie sich nach einer kurzen Reaktivierung der zentralen Elemente zeigt. Wie in Kapitel 3.3.1 bzw. 3.3.2 dargelegt, ist davon auszugehen, dass die Proband/innen der VG vor Interventionsbeginn eine größere Vertrautheit im Umgang mit (topographischen) Karten besitzen als die Proband/innen der UG in Bezug auf Luft- und Satellitenbilder.

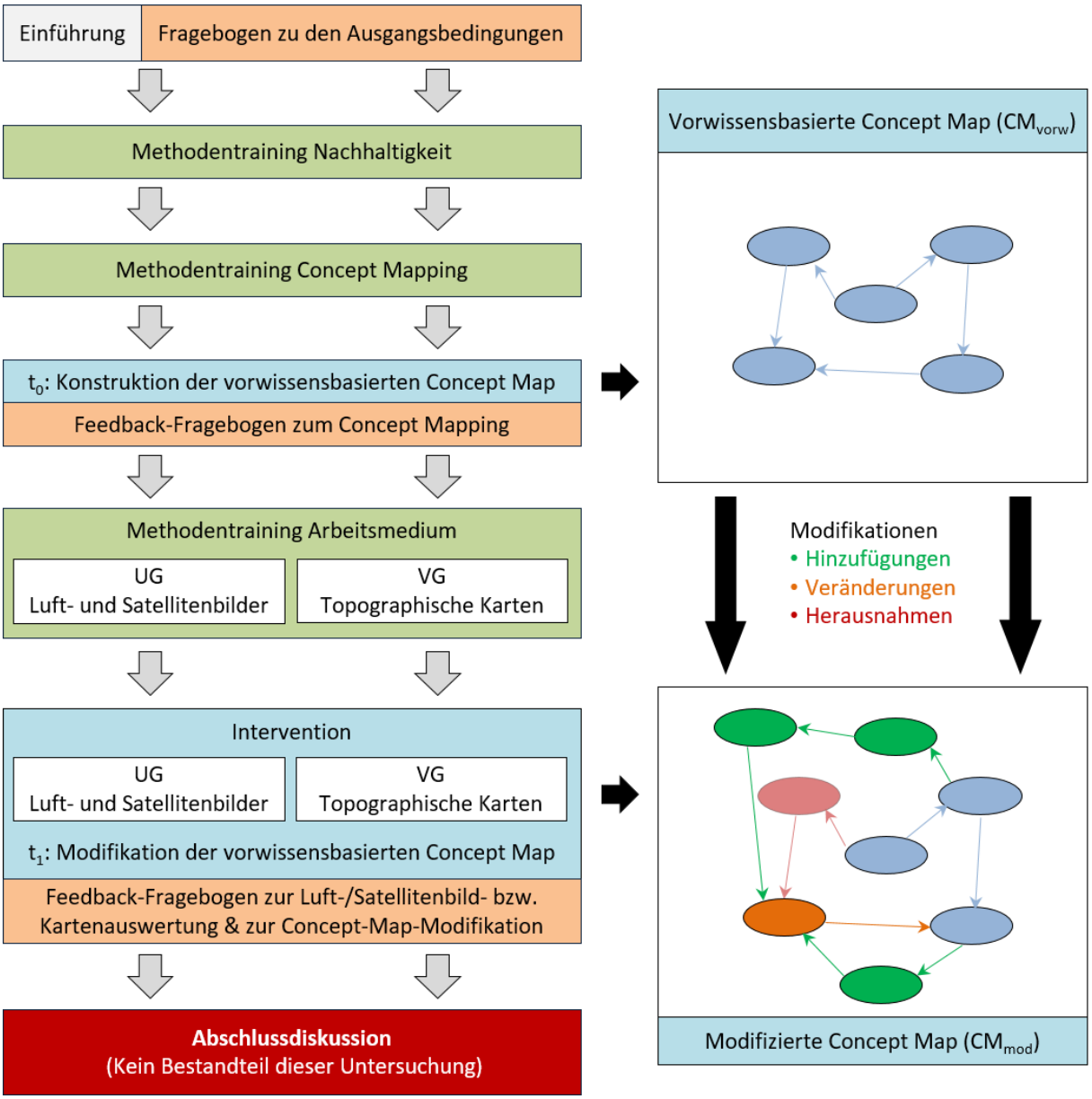


Abbildung 20: Forschungsdesign der Untersuchung (eigene Darstellung nach Jahn et al. 2015)

Vor diesem Hintergrund würde ein Vergleich der beiden Gruppen ohne das Methodentraining zum jeweiligen Medium sehr wahrscheinlich verzerrend wirken, da nicht die Wirksamkeit der Medien an sich, sondern das Zusammenspiel mit den jeweiligen methodischen Kenntnisstand *vor* der Intervention oder ggf. nur letzterer erfasst würde. Durch das Methodentraining wird explizit ein grundlegendes Maß an methodischen Kennntissen seitens der UG zu erreichen beabsichtigt, um in dieser Hinsicht möglichst gleiche Ausgangsbedingungen zwischen den beiden Testgruppen zu gewährleisten. Erst auf diese Weise lassen sich valide Aussagen über die Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbilder selbst sowie auch im Vergleich zu den topographischen Karten treffen. Die Methodentrainings sind aus forschungsmethodischer Sicht eine Maßnahme zur Kontrolle der jeweils betroffenen Störvariablen. Wegen ihrer Funktion gehen sie zugunsten von interner und zu Lasten von externer Validität (Shadish et al. 2002).

Um einen möglichst validen und reliablen Rückschluss auf die einzelnen Fähigkeiten zu ermöglichen, wird vom klassischen Zweigruppen-Prätest-Posttest-Design zur Erfassung von Interventionseffekten abgewichen: Während zunächst wie beim klassischen Ansatz zu einem ersten Erhebungszeitpunkt vor

der Intervention (t_0) das individuelle Systemvorwissen der Proband/innen per CM erfasst wird, um natürliche Differenzen zu identifizieren (Shadish et al. 2002; Bortz & Döring 2006), stellt das Interventionsende selbst den zweiten Erhebungszeitpunkt (t_1) dar. In der Intervention erhalten die Proband/innen beider Gruppen die Gelegenheit, die bei der visuellen Auswertung gewonnenen Systeminformationen in die vorwissensbasierte CM (CM_{vorw}) zu integrieren (vgl. Jüngst & Strittmatter 1995), d.h. das darin repräsentierte Systemwissen graphisch-verbal anzupassen, zu erweitern und auszudifferenzieren, sodass eine modifizierte Variante (CM_{mod}) entsteht. Während die CM_{vorw} für die Proband/innen als graphisches Strukturierungs-/Organisationswerkzeug dient, mittels dessen sie die neu gewonnenen Systeminformationen in visualisierter Form in ihr bestehendes Systemvorwissen integrieren (Assimilation) bzw. dieses entsprechend modifizieren (Akkomodation), dient das Endprodukt dieser Modifikationstätigkeiten, die fertige CM_{mod}, als Ansatzpunkt für die Diagnose des individuellen Systemwissens, wie es am Interventionsende vorliegt (Kapitel 4.3.1). Für die Auswertung des in den beiden CMs repräsentierten Systemwissens speziell gebildete Auswertungsgrößen dienen als Indikatoren für die Ausprägung der einzelnen Fähigkeiten zum jeweiligen Erhebungszeitpunkt (Kapitel 4.5). Da während der Intervention ausschließlich das jeweils eingesetzte Medium als einzige externe Informationsquelle zur Verfügung steht, kann unter Einschränkungen (siehe hierzu in Tabelle 21) davon ausgegangen werden, dass sich Veränderungen bei den Auswertungsgrößen von der CM_{vorw} hin zur CM_{mod} unmittelbar auf die Anwendung der Fähigkeiten bei der visuellen Auswertung zurückführen lassen (Jahn et al. 2015: 357) und in Anlehnung an Lewalter (1997) als Indiz für die Wirkung des jeweiligen Mediums herangezogen werden können. Die Wirkung, die die Auswertung der Luft- und Satellitenbilder auf die Anwendung der Fähigkeiten seitens der UG im getrimmten Mittel entfaltet, stellt die absolute Wirksamkeit auf der Gruppenebene dar. Sie beschreibt statistisch das absolute Ausmaß, zu dem sich in der Intervention das repräsentierte Systemwissen im Bereich der Auswertungsgrößen bei der UG verändert, weshalb mit Bezug zur H_1 die folgende statistische Veränderungshypothese überprüft wird:

> **H_1*: Die getrimmten Mittelwerte aller Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeiten sind bei der UG zu t_1 signifikant höher als zu t_0.***

Im Gegensatz zur H_1 geht die Nullhypothese (H_0) davon aus, dass in der UG zu t_1 keine signifikant höheren getrimmten Mittelwerte bei allen Auswertungsgrößen auftreten. Bezogen auf die einzelnen Fähigkeiten ergeben sich die folgenden zu prüfenden statistischen Teilhypothesen:

> ***Der getrimmte Mittelwert der betreffenden Auswertungsgröße(n) als Indikator(en) für die Fähigkeit, …, ist bei der UG zu t_1 signifikant höher als zu t_0.***
>
> **$H_{1.1}$: *… die Systemgrenze zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.2}$: *… die Systemelemente zu identifizieren ...***
>
> **$H_{1.3}$: *… die Beziehungen zwischen den Systemelementen zu identifizieren …***
>
> **$H_{1.4}$: *… die Systemprozesse zu identifizieren ...***
>
> **$H_{1.5}$: *… die innere Systemstruktur zu identifizieren ...***

Die H_0 jeder Teilhypothese geht davon aus, dass in der UG das getrimmte Mittel der jeweiligen Auswertungsgröße(n) zu t_1 nicht signifikant größer ist als zu t_0. Wegen der Gerichtetheit der H_1 ($H_{1.1}$ bis $H_{1.5}$) könnte ein einseitiger Hypothesentest erfolgen. Bortz & Schuster (2010) merken indes wie folgt an:

> „*Eine statistische Hypothese sollte immer mit einem zweiseitigen Test überprüft werden, es sei denn, die Nullhypothese würde beibehalten werden, obwohl ein extremes Ergebnis der „falschen" Richtung beobachtet wurde*." (ebd., S. 105).

Bezogen auf die Fähigkeiten würde dies zutreffen, wenn sich eine als Indikator verwendete Auswertungsgröße zu t_1 gegenüber t_0 (signifikant) verschlechtert. Da es theoretisch sein kann, dass bei der visuellen Auswertung nicht systemrelevante Informationen als systemrelevant erachtet und in der CM repräsentiert werden, kann hieraus eine Verschlechterung bei einer oder mehreren Auswertungsgrößen als Ausdruck einer (anteilsmäßig) weniger systembezogenen Repräsentation resultieren. Dies würde ein extremes Ergebnis der falschen Richtung hervorrufen. Um eine derartige Entwicklung mit einer ausreichenden Teststärke statistisch aufdecken zu können, werden alle Hypothesentests zweiseitig durchgeführt (vgl. Field 2009; Rasch et al. 2014a).

Um ein besseres Verständnis für die relative Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbilder gegenüber den topographischen Karten zu erhalten, wird ein Vergleich der interventionsbedingten Entwicklung des getrimmten Mittels der Leistung beider Testgruppen auf der Ebene der Auswertungsgrößen durchgeführt. In diesem Kontext wird die H_2 in die folgende zu überprüfende statistische Nichtunterschiedshypothese[70] überführt:

> **H_2***: Die getrimmten Mittelwerte der Entwicklungen aller Auswertungsgrößen von t_0 zu t_1 als Indikatoren für die Fähigkeiten unterscheiden sich bei der UG nicht signifikant von denen bei der VG.*

Die H_0 postuliert demgegenüber, dass sich die Entwicklung mindestens einer Auswertungsgröße im getrimmten Mittel signifikant zwischen den beiden Gruppen unterscheidet. Hinsichtlich jeder Fähigkeit ergibt sich die folgende zu überprüfende statistische Teilhypothese:

> ***Der getrimmte Mittelwert der Entwicklung der betreffenden Auswertungsgröße(n) von t_0 zu t_1 als Indikator(en) für die Fähigkeit, …, unterscheidet sich bei der UG nicht signifikant von dem bei der VG.***
>
> **$H_{2.1}$: …** ***die Systemgrenze zu identifizieren …***
>
> **$H_{2.2}$: …** ***die Systemelemente zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.3}$: …** ***die Beziehungen zwischen den Systemelementen zu identifizieren …***
>
> **$H_{2.4}$: …** ***die Systemprozesse zu identifizieren ...***
>
> **$H_{2.5}$: …** ***die innere Systemstruktur zu identifizieren ...***

Die jeweilige H_0 geht davon aus, dass sich das getrimmte Mittel der Entwicklung der betreffenden Auswertungsgröße(n) signifikant zwischen den beiden Gruppen unterscheidet. Wegen der Ungerichtetheit der H_2 ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$) werden zweiseitige Hypothesentests durchgeführt.

Die zur Überprüfung aller statistischen Teilhypothesen eingesetzten robusten uni-/multivariaten Testverfahren werden in Kapitel 5 vorgestellt. Dies schließt ebenfalls Testverfahren mit ein, die bei Falsifizierung der H_2 zur Beantwortung der optionalen Forschungsfrage 3 herangezogen werden.

Die an einem außerschulischen Lernort, dem Klaus-Tschira-Kompetenzzentrum für digitale Geomedien (GIS-Station) an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, durchgeführte Interventionseinheit ist möglichst unterrichtsnah konzipiert worden, um einerseits ein unterrichtsnahes Bild über die Wirksamkeit zu erhalten und um andererseits eine angemessene Balance zwischen den forschungsmethodischen Implikationen von Labor- und Felduntersuchungen zu erreichen und ein hinreichendes Maß an interner wie externer Validität zu gewährleisten (Bortz & Döring 2006; Pituch & Stevens 2016).

[70] Analog zur H_1 wird somit implizit auch bei der VG von höheren getrimmten Mittelwerten zu t_1 ausgegangen.

Proband/innen sind baden-württembergische Kursstufenschüler/innen, die den beiden Testgruppen in ihren Kursstufenklassen (Kapitel 4.6), d.h. als natürliche Gruppen zugewiesen wurden[71]. Es liegt daher eine quasi-experimentelle Untersuchung vor. Aus forschungsmethodischer Sicht kann sich die Variable Schulklasse als Störvariable bemerkbar machen (vgl. Kapitel 2.4.2.2), bei der nach Neumann-Mayer (2005) neben formalen Aspekten (behandelte Unterrichtsinhalte) ebenfalls klassenspezifische (Lehrstil der Lehrkraft) eine Rolle spielen. Die statistische Bestimmung ihres potenziellen Einflusses wird in Kapitel 5.4 erläutert.

Die Tatsache, dass jede Fähigkeit als einzelne AV untersucht wird, erhöht die interne Validität nach Bortz & Döring (2006). Eine weitere gängige Maßnahme zur Erhöhung der internen Validität, und nach Fischer & Mandl (2000) auch der externen Validität, ist bei quasi-experimentellen Untersuchungen ein Design mit zwei oder mehr Gruppen, wobei eine (der) Vergleichsgruppe(n) keine Intervention erhält, die inhaltlich-thematisch oder auf eine sonstige Art und Weise für die untersuchten AVs relevant ist (Bortz & Döring 2006). Dieser Ansatz konnte nicht realisiert werden, da keine Kursstufenklasse unter einer derartigen Kontrollbedingung für die Untersuchung gewonnen werden konnte. Begründet wurde dies mit dem Wunsch nach einer in sich stimmigen Lerneinheit.

4.1 Pilotierung und Anpassung des Forschungsdesigns

Das Forschungsdesign stellt das Ergebnis eines iterativen Überprüfungs- und Optimierungsprozesses dar. Das ursprünglich angesetzte Setting entsprach von den Inhalten, der Gliederung, dem zeitlichen Umfang und den eingesetzten Materialien her bereits im Wesentlichen dem hier vorliegenden. Ein entscheidender Unterschied besteht in der Verwendung einer zuvor geschlossenen Concept-Mapping-Variante, für die in einem mehrstufigen Prozess von 10 Bereichsexpert/innen ein Referenznetz zum Braunkohleabbau erstellt wurde[72]. Eine detaillierte Erläuterung des Ursprungsdesigns und der (Gründe für die) daran vorgenommenen Weiterentwicklung zu dem in dieser Arbeit verwendeten Forschungsdesign, gibt Anhang 1. In der Pilotierung ist zudem die interne Konsistenz der in Kapitel 4.3.2 vorgestellten Fragebögen für die Erfassung von Störvariablen bestimmt worden.

[71] Es wird davon ausgegangen, dass die Proband/innen der VG die i.d.R. ungewohnteren Luft- und Satellitenbilder sehr wahrscheinlich anschaulicher, interessanter und in der Folge motivierender empfinden könnten als die topographischen Karten (vgl. Kapitel 3.3.2). Da die Proband/innen einer Schulklasse aus praktisch-organisatorischen Gründen alle in ein und demselben Computerraum gemeinsam arbeiten, werden negative motivationale Einflüsse auf die Leistung derjenigen erwartet, die mit den topographischen Karten arbeiten. Eine randomisierungsbedingte Aufteilung könnte dazu führen, dass die Proband/innen der VG mitbekommen, dass die UG Luft- und Satellitenbilder verwendet. Dadurch u.U. einsetzende motivationale Einbußen (Demoralisierung) könnten über ein reaktives Verhalten auf die Konstruktvalidität einwirken (Shadish et al. 2002). Um dies zu vermeiden, ist eine Gruppenzuweisung über ganze Klassen erfolgt.

[72] Wegen der Berufstätigkeit sind die Expert/innen in Anlehnung an Stracke (2004) und Schaal (2006) per Email um die Überarbeitung einer vom Autor initial konstruierten Basismap (Phase I) gebeten worden, die aus einer Lernzielanalyse heraus literaturbasiert erstellt worden war (Eckert 1998). Die modifizierten CMs wurden dann in einem Sammelnetz zusammengefasst (Phase II). Die Expert/innen entschieden anschließend über die Verwendung von neu eingebrachten Konzepten/Propositionen sowie über bestimmte Begrifflichkeiten. Häufigkeitsbasiert wurden zahlreiche Konzepte und Verbindungswörter aufgenommen. Das angepasste Sammelnetz (Phase III) wurde danach einer Begutachtung unter didaktischen, methodischen sowie ökonomisch-pragmatischen Gesichtspunkten (u.a. Kenntnis der Konzepte in der Kursstufe, Oberbegriffe, unscharfe, ähnliche und widerspruchsbehaftete Konzepte sowie verständliche, möglichst präzise und semantisch überschneidungsfreie Verbindungswörter) unterzogen und geringfügig angepasst (Phase IV).

4.2 Potenzielle Störvariablen der Untersuchung

Bei der empirischen Untersuchung sind potenzielle Einflüsse durch verschiedene personale und externale Variablen zu berücksichtigen, die auf die beiden zentralen kognitiven Prozesse einwirken können:

- *Moderatorvariablen*: Diese Störvariablen üben potenziell einen Einfluss auf die visuelle Aneignung bzw. Generierung der Systeminformationen, d.h. auf die Wirkung der UV auf die AVs, aus. Sie stehen im direkten Zusammenhang mit der visuellen Auswertung und der dabei erfolgenden Anwendung der Fähigkeiten, um systemrelevante Informationen herauszulesen bzw. darauf aufbauend gedanklich zu erschließen. Hierzu gehören jene Variablen (außer denen zum Mind Mapping bzw. Concept Mapping), die über Fragebogen A in ihrer dispositionalen Ausprägung erhoben werden (Kapitel 4.3.2.1). Ferner bezieht sich dies auf Variablen mit Bezug zur visuellen Auswertung selbst, deren situationale Ausprägung über Fragebogen C ermittelt wird (Kapitel 4.3.2.3).
- *Externalisationsvariablen*: Da die Wirkung der UV auf die AVs mental erfolgt, bedarf es des Erhebungsinstruments CM, um die Wirkung empirisch diagnostizieren zu können. Die hierfür erforderliche Externalisation und graphisch-verbale Repräsentation des Systemmodells bzw. -wissens ist anfällig gegenüber Variablen, die im Kontext der Methode Concept Mapping stehen. Potenzielle Einflüsse auf die Konstruktion der CM_{vorw} werden mittels Fragebogen B erfasst (Kapitel 4.3.2.2). Personale Variablen, die auf die Modifikation einwirken, werden in ihrer situationalen Ausprägung über Fragebogen C bestimmt (Kapitel 4.3.2.3). Externalisationsvariablen im Rahmen der Modifikation können auch als Moderatorvariablen wirksam sein: Da die Proband/innen die Modifikation der CM_{vorw} parallel zur visuellen Auswertung durchführen und Modifikationen u.U. ausschließlich auf der Basis der Auseinandersetzung mit der CM_{vorw} erfolgen können (Reaktivität der Methode), die ihrerseits einen Einfluss auf die visuelle Auswertung haben kann (Suche nach visuellen Anhaltspunkten), kann ggf. ein Einfluss auf die Wirkung der UV auf die AVs auftreten.

Abbildung 21 verortet die potenzielle Einwirkung der o.g. Variablen zusammen mit den zu ihrer Erfassung eingesetzten Fragebögen innerhalb der beiden zentralen kognitiven Prozesse.

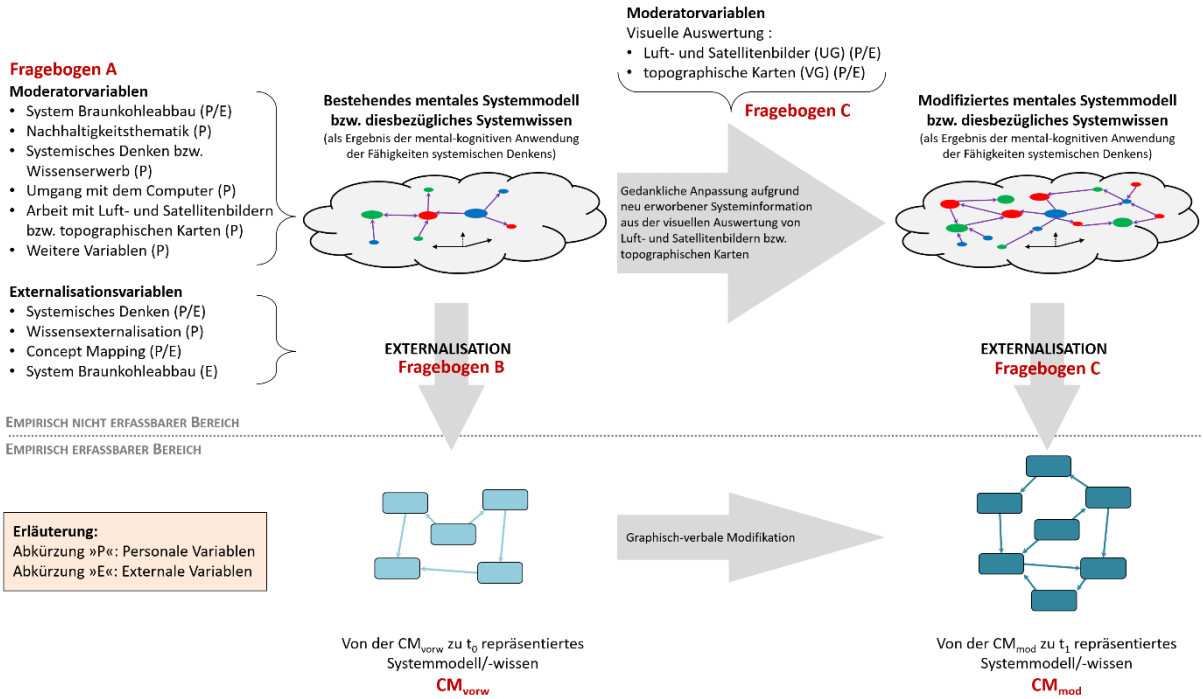


Abbildung 21: Verortung der potenziellen Einwirkung von personalen und externalen Moderator- und Externalisationsvariablen (eigene Darstellung)

Nachfolgend werden die personalen und externalen Moderator- und Externalisationsvariablen in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 sowie die untersuchungsbedingten Störvariablen in Kapitel 4.2.3 vorgestellt.

4.2.1 Erhobene personale Störvariablen (Kontrollvariablen)

Personale Moderator- und Externalisationsvariablen sind jene aus Tabelle 10 (Kapitel 3.1), Tabelle 12 (Kapitel 3.2) und Tabelle 18 (Kapitel 3.3.2). Ihr potenzieller Einfluss ist aus der Forschung z.T. bekannt. Aus ihrer Vielfalt werden die in Tabelle 19 ausgewählt und per Fragebogen zum Zweck der statistischen Kontrolle (Kontrollvariablen: KVs) erhoben, um ihre potenzielle moderierende Wirkung zu bestimmen und bei der Interpretation zu berücksichtigen. Diese Vorgehensweise dient der Sicherung der internen Validität der Untersuchung und ihrer Erkenntnisse (Bortz & Döring 2006).

Tabelle 19: Erhobene Störvariablen der Untersuchung

Erhebung der dispositionalen Ausprägung per Fragebogen A (Kapitel 4.3.2.1)
Umgang mit dem Computer
• Erfahrung/Vorwissen (vgl. Tabelle 10)
• Selbsteinschätzung, u.a. Interesse, Freude, Angst (vgl. Tabelle 10)
Thema Braunkohleabbau
• Erfahrung/Vorwissen (vgl. Tabelle 10, Tabelle 12 und Tabelle 18)
Nachhaltigkeitsthematik
• Erfahrung/Vorwissen (vgl. Tabelle 10)
Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. topographischen Karten (VG)
• Erfahrung/Vorwissen (vgl. Tabelle 18)
• Selbsteinschätzung: u.a. Interesse, Freude, Angst (vgl. Tabelle 18)
Concept Mapping
• Erfahrung/Vorwissen Mind Mapping (vgl. Tabelle 12)
• Erfahrung/Vorwissen Concept Mapping (vgl. Tabelle 12)
Weitere erhobene Störvariablen
• Alter (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 18)
• Geschlecht (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 18)
• Rot-Grün-Sehschwäche (vgl. Tabelle 18)
• Beherrschung der deutschen Sprache (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 18)
• Klassenstufe (vgl. Tabelle 10)
• Stunden pro Woche Erdkunde/Geographie
• Schulische Leistungen: Note Erdkunde/GWG, Deutsch bzw. Mathematik (vgl. Tabelle 10, Tabelle 12 und Tabelle 18)
Erhebung der situationalen Ausprägung per Fragebogen B (Kapitel 4.3.2.2)
CM-Konstruktion
• Interessantheit: situationales Interesse (vgl. Tabelle 12)
• Handhabbarkeit (vgl. Tabelle 12)
• Nützlichkeit
Erhebung der situationalen Ausprägung per Fragebogen C (Kapitel 4.3.2.3)
Visuelle Auswertung
• Interessantheit, • Anstrengung, • Wahrgenommene Kompetenz } situationales Interesse (vgl. Tabelle 18)
• Schwierigkeiten
• Nützlichkeit
CM-Modifikation
• Nützlichkeit
• Handhabbarkeit (vgl. Tabelle 12)
• Interessantheit: situationales Interesse (vgl. Tabelle 18)

Die nicht in Tabelle 19 aufgeführten Variablen werden aufgrund des zeitlichen Umfangs und zum Zweck der Minimierung von Motivations-/Konzentrationseinbußen nicht kontrolliert. Sie werden folglich als potenziell wirksame Störvariablen hingenommen.

4.2.2 Nicht erhobene externale Störvariablen

Externale Moderator- und Externalisationsvariablen sind Einflüsse aus Tabelle 10 (Kapitel 3.1) und Tabelle 18 (Kapitel 3.3.2), die mit den Spezifika des Systems Braunkohleabbau, der Anforderungen des Concept Mapping, der verwendeten Luft- und Satellitenbilder bzw. topographischen Karten inklusive ihrer Darbietungsform, und der gestellten Aufgaben für die visuelle Auswertung in Verbindung stehen. Sie sind in Tabelle 20 in die Bereiche Wissensaneignung und -externalisation differenziert und lassen sich im Gegensatz zu den personalen Variablen in ihrer Wirkung nur äußerst schwer einschätzen, da sie mit den o.g. Aspekten implizit einhergehen. In Tabelle 20 ist dargelegt, inwiefern sie (z.T.) bei der Untersuchung Berücksichtigung finden.

Tabelle 20: Externale Störvariablen der Untersuchung und ihre Berücksichtigung

Im Bereich der Aneignung von Systeminformationen und der Integration in das Systemwissen
1. Spezifika des betrachteten Systems (vgl. Tabelle 10)
Komplexität des betrachteten Systems *Berücksichtigung*: Die Komplexität ist in Kapitel 2.1.4.3 bzw. 3.1 erläutert worden.
Dynamik des betrachteten Systems *Berücksichtigung*: Die Dynamik ist in Kapitel 2.1.4.3 bzw. 3.1 erläutert worden.
Deutlichkeit des Verlaufs der Systemgrenze *Berücksichtigung*: Die Geschlossenheit/Offenheit ist in Kapitel 2.1.4.3 bzw. 3.1 erläutert worden.
2a. Spezifika des Informationsträgers: Lernmaterial (repräsentationsspezifisch) (vgl. Tabelle 18)
Art der kartographischen Darstellung *Berücksichtigung*: Der Einfluss des verwendeten Kartentyps im Vergleich zu anderen Kartentypen wird an dieser Stelle nicht untersucht. Individuelle Vorerfahrungen werden per Fragebogen erfasst (Kapitel 4.3.2.1).
Inhaltlich-strukturelle Komplexität des piktoralen Informationsträgers *Berücksichtigung*: Steht im Zusammenhang mit den verwendeten Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten (u.a. dargestellter Erdraum, Raumauflösung/Kartenmaßstab). Als Wesensmerkmal prägen sie die Wirksamkeit des jeweiligen Mediums mit und gehen dadurch in das Forschungsinteresse mit ein (vgl. Kapitel 3.3.2).
Gestaltungsaspekte: Kontur, Schattierung, Perspektive, Farbgebung, Proportionen, Differenzierbarkeit, Anschaulichkeit/Abstraktheit von Inhalten *Berücksichtigung*: Stehen im Zusammenhang mit den verwendeten Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten (u.a. dargestellter Erdraum, Raumauflösung/Kartenmaßstab, Kanalkombination). Als Wesensmerkmal prägen sie die Wirksamkeit des jeweiligen Mediums mit und gehen dadurch in das Forschungsinteresse mit ein (vgl. Kapitel 3.3.1 und 3.3.2).
Klarheit der Legende bzw. Kohärenz zwischen Karte und Legende *Berücksichtigung*: Kohärenz/Kongruenz kann bei den verwendeten amtlich topographischen Karten vorausgesetzt werden (Kapitel 4.4.2).
Bildqualität/räumliche Auflösung bzw. Detailgrad repräsentierter Sachverhalte *Berücksichtigung*: Es werden ein hochaufgelöstes Luftbild (Orthofoto) im Maßstab 1 : 5.000 bzw. eine großmaßstäbige Digitale Grundkarte (DGK 5) im gleichen Maßstab sowie großräumige Landsat-Satellitenbilder bzw. kleinmaßstäbige topographische Karten im Maßstab 1 : 100.000 (TK 100) eingesetzt. Während durch das Orthofoto bzw. die DGK 5 eine detaillierte Betrachtung kleinräumiger Feinheiten möglich ist, bieten die Satellitenbilder und die TK 100 großräumige Übersichten (Kapitel 4.4.2).
Absolute Größe des piktoralen Informationsträgers *Berücksichtigung*: Die absolute Bild- bzw. Kartengröße ist gebunden an verfügbare Materialien bzw. Daten, die im vorliegenden Fall als hoch eingestuft werden kann (Kapitel 4.4.2).

2b. Spezifika des Informationsträgers: Lernsituation (anforderungsspezifisch) (vgl. Tabelle 18)

Verfügbare Zeit für die Auswertung des piktoralen Informationsträgers
Berücksichtigung: Die zur Verfügung stehende Zeit ist gemäß der Mehrzahl der Rückmeldungen der Proband/innen und Lehrkräfte in der Pilotierung (vgl. Anhang 1) in die Haupterhebung übernommen worden. Es wird dennoch per Fragebogen erfasst, inwiefern der angesetzte Zeitrahmen individuell ausgereicht hat oder nicht (Kapitel 4.3.2.3).

(Didaktischer) Kontext der Auswertung des piktoralen Informationsträgers
Berücksichtigung: Der didaktische Rahmen, der nach Reuschenbach (2007, 2009) im Hinblick auf die selektionierte Wahrnehmung von Bildinhalten von Bedeutung sein kann, wird durch das behandelte System Braunkohleabbau gestellt. Die verwendeten Luft- und Satellitenbilder bzw. topographischen Karten weisen prinzipiell eine hohe Eignung für die inhaltliche Erarbeitung des Systems aus, da sie eine Vielzahl systemrelevanter Aspekte in visueller Form enthalten (Primärinformationen), aus denen sich weitere Systemaspekte (Sekundär- und Tertiärinformationen) ableiten lassen (Kapitel 4.4.2.3).

Einsatz von Steuerungscodes zur Aufmerksamkeitsfokussierung: u.a. bei digital animierten Bildern durch digitale Zoom-Funktion, direktive sprachliche Instruktionen, vergrößerte Ausschnitte, Pfeile, Legenden, Bildüberschriften, Begleittexte
Berücksichtigung: Luft- und Satellitenbilder enthalten per se keine Steuerungscodes (ggf. über Farbgebung bei analogen Bildern). Auch topographische Karten enthalten abgesehen von der Kartenüberschrift, der Kartenschrift und der Legende keine weiteren Steuerungscodes.

Aufgabenstellung: Zielsetzung, Zielgerichtetheit/Adäquatheit, Operatoren, Kompetenzstufe (benötigte Verfahrensweisen) im Verhältnis zum Komplexitätsniveau des piktoralen Informationsträgers, Hinweise, Steuerungsgrad (kleinschrittig bis selbstständig mit methodischen Hilfestellungen)
Berücksichtigung: Die Interventionsaufgaben, die zu einer tiefgreifenden visuellen Auswertung anregen und die Überführung der wahrgenommenen systemrelevanten Aspekte in die Knoten-Relation-Struktur der CM sicherstellen sollen, sind während der Pilotierung getestet und optimiert worden (vgl. Kapitel 4.1). Es ist davon auszugehen, dass keinerlei (bedeutende) Einflüsse auftreten. Es wird dennoch eine kurze Aufgabenbesprechung durchgeführt (Kapitel 4.4.1.6).

Gleichzeitige Verfügbarkeit von Bild und Text (Legende)
Berücksichtigung: Die gleichzeitige Verfügbarkeit, wie sie bei analogen Karten in Form von Legende/Kartenbild gegeben ist, wird mittels Split Screen bzw. einer Betrachtung nacheinander am Bildschirm ermöglicht (Kapitel 4.4.2).

Präsentationsform (analog, digital)
Berücksichtigung: Durch die visuelle Auswertung am Computer besteht die Möglichkeit zum Rein-/Rauszoomen (von Bedeutung für den Faktor Detailgrad) sowie zum unmittelbaren Bild- bzw. Kartenvergleich (von Relevanz für den Faktor Animation von Dynamik) (Kapitel 4.4.1.6).

Animationen zur Visualisierung von (Eigen-)Dynamik
Berücksichtigung: Durch die visuelle Auswertung am Computer ist eine animationsartige Betrachtung der Luft- und Satellitenbilder bzw. der topographischen Karten möglich (Kapitel 4.4.1.6).

Im Bereich der Externalisation und Repräsentation des Systemwissens

3. Spezifika des betrachteten Systems (siehe bei 1 in dieser Tabelle)

Komplexität und Dynamik des betrachteten Systems
Deutlichkeit des Verlaufs der Systemgrenze

4. Spezifika des Concept Mapping (vgl. Tabelle 12)

Vorgabe oder Nichtvorgabe von Parametern (offenes vs. geschlossenes Concept Mapping)
Berücksichtigung: Der Einfluss der Aufgabenstellung auf den Repräsentationsprozess und die Art des repräsentierten Systemwissens sollte bei der offenen Variante geringer sein, während der Selbstbestimmungsgrad größer ist. Durch die Nicht-Vorgabe von CM-Parametern kann die Offenheit v.a. bei Lernschwächeren bzw. bei fehlendem Vorwissen zu kognitiver Belastung führen; ebenso können Einflüsse durch Versprachlichungsprobleme auftreten (Kapitel 4.3.1 und 4.3.1.2), weshalb Probleme im Bereich der Konstruktion (Fragebogen B) wie Modifikation (Fragebogen C) von Konzepten, Relationen und Verbindungswörtern explizit abgefragt werden.

Kompatibilität des Concept Mapping mit bekannten Lernmethoden/-strategien
Berücksichtigung: Die Kompatibilität als solche wird nicht erfasst. Es wird allerdings die individuelle Beherrschung der Methode sowie des verwandten Mind Mapping per Fragebogen erfasst (Kapitel 4.3.2.1), bevor im Vorfeld der CM_{vorw}-Konstruktion ein Methodentraining zum Concept Mapping durchgeführt wird (Kapitel 4.4.1.3).

Verfügbare Konstruktionszeit
Berücksichtigung: Die optimale Dauer des Concept Mapping ist in der Pilotierung getestet worden (vgl. Kapitel 4.1).

Zwang zur Konstruktion möglichst genauer Propositionen
Berücksichtigung: Sowohl in Bezug auf die Wahl möglichst genauer/präziser Verbindungswörter (Verben) als auch im Hinblick auf die Überprüfung bereits erstellter Propositionen und einer ggf. notwendigen Abänderung erfolgt im Vorfeld der CM_{vorw}-Konstruktion im Rahmen des Methodentrainings eine diesbezügliche Sensibilisierung (Kapitel 4.4.1.3).

Komplexität des zu repräsentierenden Wissens
Berücksichtigung: Die eingesetzte Concept-Mapping-Software CmapTools ermöglicht eine freie Konstruktion auf dem Bildschirm ohne räumliche Einschränkungen. Es kann damit ein hochgradig komplexes Systemwissen repräsentiert werden.

4. Sonstige (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 18)

Klasse im Verhältnis zu anderen Klassen dergleichen Schule bzw. von anderen Schulen
Berücksichtigung: Aufgrund des gewählten Designs (fehlende Randomisierung) nicht kontrolliert (Störvariable).

Schulart
Berücksichtigung: Alle Proband/innen stammen aus Gymnasien (gleiche Schulart).

4.2.3 Nicht erhobene untersuchungsbedingte Störeinflüsse

Relevante untersuchungsbedingte Störeinflüsse im Kontext des gewählten Forschungsdesigns sind die in Tabelle 21 zusammengefassten Aspekte, für die bestimmte Maßnahmen/Vorkehrungen getroffen werden, um die interne Validität zu erhöhen.

Tabelle 21: Untersuchungsbedingte Störeinflüsse und ihre Berücksichtigung

Im Rahmen des spezifischen Forschungsdesigns
Gestaltung der Interventionseinheit: Die Einheit kann sich als Ganzes oder zu Teilen auf die Motivation und Anstrengung der Proband/innen auswirken und zu Verzerrungen durch unnatürliches Verhalten führen (Gefährdung der Validität). Hierbei von Bedeutung sind die Computerarbeit (vgl. Rinschede 2007; Diekmann-Boubaker 2010; Siegmund 2011; Ditter et al. 2012: 214ff.; Ditter 2013), das behandelte System, die Dauer der verschiedenen Arbeitsphasen (CM-Konstruktion, visuelle Auswertung mit der Informationsüberführung in die CM_{vorw} und deren Modifikation, Fragebögen), das Verhältnis von Aktions-/Rezeptionsphasen, das Verhältnis verschiedener (Inter-)Aktionsformen (Proband/innen-Versuchsleiter-Gespräche, Concept Mapping, visuelle Auswertung in Kombination mit Concept Mapping, Fragebogenbeantwortung), die Dauer von Pausen sowie auch ästhetische Aspekte wie das Design von Arbeitsblättern und PowerPoint-Folien. Mit dem Ablauf der Interventionseinheit in Verbindung stehen Positionseffekte, die infolge der Anordnung der verschiedenen Phasen dann zu einer Beeinflussung führen können, wenn die Intervention selbst erst gegen Ende der gesamten Einheit erfolgt (Ermüdungserscheinungen bzw. Reifungsprozesse bei Bortz & Döring 2006 bzw. Huberty & Olejnik 2006). Außerdem spielt die Passung der Interventionseinheit an Gewohnheiten der Proband/innen aus dem Schulunterricht eine Rolle. *Berücksichtigung*: Die Interventionseinheit wurde in der Pilotierung getestet und optimiert (vgl. Kapitel 4.1). Erst, als ein weitestgehend reibungsloser Ablauf eingesetzt hat, wurde die Pilotierung beendet und es erfolgte der Übergang zur Haupterhebung. Es wurde grundsätzlich darauf geachtet, mögliche Einflüsse durch Motivations-/Konzentrationseinbußen über eine gezielt optimale Dauer der Aktivitätsphasen (Concept Mapping, visuelle Auswertung) sowie über kurz gehaltene Fragebögen (vgl. zur Vorgehensweise bei Ditter 2013) zu minimieren.
Effekte durch soziale Interaktion: Soziale Interaktion kann zu Leistungsverzerrungen führen, wenn Wissen von anderen Proband/innen übernommen bzw. gemeinsam generiert wird. Es sinkt die Durchführungsobjektivität. *Berücksichtigung*: Ziel der Untersuchung ist die Minimierung der sozialen Interaktion, besonders beim Concept Mapping und Bild- bzw. Kartenauswertung. Auf Nachfragen wird (um keinen Einfluss auszuüben) derart eingegangen, dass die Proband/innen dazu angeregt werden, der Frage selber nachzugehen und selber eine Antwort zu finden. Die Lehrkräfte werden gebeten, ebenfalls bei der eigenen Suche nach einer Antwort zu unterstützen und kein eigenes Wissen weiterzugeben. Trotz dieser Maßnahmen kann eine vollständige Eliminierung dieses Effekts nicht garantiert werden.

Grundsätzlich zu berücksichtigende Störeinflüsse bei sozialwissenschaftlichen Untersuchungen
Hawthorne-Effekt: Durch die Aufklärung über den Forschungscharakter wird eine Ernsthaftigkeit und Grundanstrengung sicherzustellen beabsichtigt. Durch diese Rahmenbedingung sowie aufgrund des Beobachtungscharakters der Einheit kann es zu einem veränderten (unnatürlichen) Verhalten in Form einer größeren Anstrengung kommen (Reaktivität) und sich auf die externe Validität negativ auswirkt (vgl. Shadish et al. 2002; Bortz & Döring 2006; Hussy et al. 2013). *Berücksichtigung*: Hussy et al. (2013) beschreiben die Möglichkeit, die Reaktivität zu senken, indem die Anonymität der Daten zugesichert wird. Es wird der Forschungscharakter lediglich zu Beginn der Interventionseinheit kurz mitgeteilt.
Empörte Demoralisierung bzw. Kompensatorischer Wettstreit: Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Medien kann es zu einer Demoralisierung einer der beiden Testgruppen kommen (v.a. seitens die VG), die gerne ebenfalls das andere Medium verwenden möchte. Umgekehrt könnte diese Testgruppe versuchen, über eine unnatürlich erhöhte Anstrengung die subjektiv wahrgenommene Ungunst zu egalisieren (vgl. Shadish et al. 2002; Bortz & Döring 2006). *Berücksichtigung*: Derartige Effekte werden dadurch ausgeschlossen, dass die Proband/innen über das Zwei-Gruppen-Design nicht aufgeklärt und auf Klassenebene dem jeweiligen Medium zugeordnet werden.
Versuchsleitererwartungseffekte (Pygmalion-/Rosenthal-Effekt): Zwischenmenschliche Aspekte in Form von Sympathiebekundung oder (unter-)bewussten Signalen seitens des Versuchsleiters können bei den Proband/innen ein reaktives (unnatürliches) Verhalten, z.B. eine größere Motivation bzw. Anstrengung, hervorrufen (vgl. Shadish et al. 2002). *Berücksichtigung*: Durch eine weitestgehend standardisierte Ablaufstruktur (u.a. Verwendung von PowerPoint-Präsentationen bei den Methodentrainings bzw. Aufgabenstellungen) werden diese Effekte zu kontrollieren beabsichtigt, in deren Rahmen der Versuchsleiter ausschließlich die Funktion eines Moderators einnimmt und die Lehrkräfte zu dergleichen Rolle gebeten werden (vgl. zur Vorgehensweise bei Ditter 2013). Nach Hussy et al. (2013) schränkt zudem die computerbasierte Datenerhebung (CMs, Fragebögen) diesen Effekt in seiner Wirksamkeit etwas ein.
Soziale Erwünschtheit: Bei allen Fragebögen besteht potenziell die Möglichkeit, dass Proband/innen sich so darstellen, dass sie subjektiv angenommene Erwartungen an sie zu erfüllen versuchen (vgl. Ehrlinger et al. 2008; Hussy et al. 2013). *Berücksichtigung*: Während der Beantwortung der Fragebögen wird stets die Anonymität der Daten versichert und um eine ehrliche Beantwortung gebeten.
Mangelnde instrumentelle Validität/Reliabilität: Das erhobene Systemwissen nicht bzw. ungenau oder fehlerhaft erhoben über das Concept Mapping (vgl. Bortz & Döring 2006). *Berücksichtigung*: Hinreichende Validität/Reliabilität des Concept Mapping ist gegeben (vgl. Kapitel 2.3.2.2).
Neuigkeitseffekte: Reaktives Verhalten der Proband/innen durch größeres Interesse bzw. größere Anstrengung ist v.a. bei der UG aufgrund der Luft- und Satellitenbilder zu erwarten. Jedoch werden topographische Karten ebenso wenig schulisch eingesetzt, sodass auch hier möglicherweise (kleinere) Effekte auftreten können (vgl. Shadish et al. 2002). Effekte können u.U. ebenfalls in Bezug auf das Concept Mapping sowie die Interventionseinheit als außerschulisches Angebot auftreten. *Berücksichtigung*: Auskünfte zur unterrichtlichen Einsatzhäufigkeit werden ermittelt (Kapitel 4.3.2.1). Zudem wird das Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung erfasst (Kapitel 4.3.2.3) und seine Wirkung bestimmt (Kapitel 5.4). Effekte speziell durch die Luft- und Satellitenbilder sind ein natürliches Begleitphänomen dieses Mediums und können eine Ursache für seine zu untersuchende spezifische Wirksamkeit darstellen.
Treatment-Diffusion: Da der Autor dieser Arbeit sowohl bei der UG als auch bei der VG die Interventionseinheit als Versuchsleiter durchführt, kann es potenziell zu Einflüssen kommen (vgl. Shadish et al. 2002; Bortz & Döring 2006). *Berücksichtigung*: Durch die standardisierte Struktur, die für beide Testgruppen bis auf das eingesetzte Medium identisch sind, wird dieser Effekt zu neutralisieren beabsichtigt.
Übertragungseffekte (carry-over-Effekte) und **Testübung**: Bei wiederholten Erhebungen kann es zu Erinnerungs-, Übungs- bzw. Sensibilisierungseffekten durch eine vorangegangene Erhebung kommen, die auf die Leistung im Bereich der AVs einwirkt (vgl. Huberty & Olejnik 2006; Hussy et al. 2013). Unter Testübung subsumieren Bortz & Döring (2006) Effekte, die mit dem Testinstrument selbst einhergehen und das zu Messende beeinflussen können. *Berücksichtigung*: Da es sich um eine wiederholtes Concept Mapping handelt, sind die o.g. Effekte zu erwarten, weshalb die Proband/innen bei der Modifikation etwas geübter sein sollten. Durch das Methodentraining und ein kurzes Einüben (Kapitel 4.4.1.3) wird allen Proband/innen noch vor der Konstruktion der CM_{vorw} die Möglichkeit gegeben, sich mit der (Anwendung der) Methode grundlegend vertraut zu machen. Über eine bereits von Beginn an bessere Beherrschung wird die Wirkung der Effekte zu minimieren beabsichtigt. Einen Einblick in die Effektivität dieser Maßnahme können die retrospektiven Selbstauskünfte in Fragebogen B und C geben (Kapitel 4.3.2.2 und 4.3.2.3). Mit Blick auf die Testübung ist die Reaktivität des Concept Mapping als solche grundsätzlich zu bedenken.

Als weitere Störeinflüsse gelten die Uhrzeit (Ermüdung gegen Mittag/Nachmittag), die Raumtemperatur (wärmebedingte Ermüdung) und die Lichtverhältnisse (Blendung durch Reflexionen auf dem Bildschirm), die ebenfalls potenziell Einfluss auf die Leistung haben können. Sie sind über den Erhebungszeitraum soweit möglich kontrolliert worden.

4.3 Erhebungsinstrumente und deren Einsatz

Mittels der verwendeten Erhebungsinstrumente wird eine valide, reliable und objektive Beantwortung der Forschungsfragen bzw. der Überprüfung der aufgestellten Hypothesen zu erreichen beabsichtigt. In dieser Hinsicht ist neben der Erfassung des individuellen Systemwissens als Auskunft über das Systemmodell ferner die Erhebung der in Kapitel 4.2.1 vorgestellten KVs von Bedeutung. Es wird nachfolgend zunächst das Erhebungsinstrument CM vorgestellt (Kapitel 4.3.1), bevor die Erfassung der KVs per Fragebogen Gegenstand der Betrachtung ist (Kapitel 4.3.2).

4.3.1 Concept Maps als Erhebungsinstrument für den Gegenstand empirischer Erhebung

Die allgemeinen Gütekriterien des zur Erfassung und Bewertung von individuellem Systemwissen eingesetzten Concept Mapping sind in Kapitel 2.3.2.2 ausführlich dargelegt worden. Sie deuten, wenn auch unter gewissen Einschränkungen (v.a. in Bezug auf die Reaktivität), auf eine hinreichend valide, reliable, objektive und zudem sensitive Erhebungs-/Diagnosetechnik hin. Mittels dieser lässt sich, wie in Kapitel 3.2 dargestellt, individuelles Systemwissen sowohl inhaltlich-strukturell gedächtniskonform externalisieren als auch interindividuell sensitiv bewerten. In dieser Untersuchung besteht die besondere Anforderung des Concept Mapping darin, einen an den Forschungsfragen ausgerichteten, möglichst umfangreichen und tiefgreifenden Einblick in das individuelle Systemwissen zu ermöglichen, das dann auf Gruppenebene miteinander verglichen wird. Dies impliziert Einblicke in verschiedene Ausprägungsgrade des Systemwissens als Indiz für unterschiedliche Ausprägungsgrade der Fähigkeiten, in deren Kontext das Systemwissen generiert wird. Eine gedächtniskonforme Repräsentation individueller Systemwissensinhalte/-strukturen kann nur über eine völlig offene Variante realisiert werden, bei der keine (verfälschend wirkenden) CM-Parameter, außer einem Startbegriff, vorgegebenen werden. Ausschlaggebend hierfür sind folgende Gesichtspunkte:

- Die Vorgabe von CM-Parametern ist potenziell mit negativen Auswirkungen verbunden, zu denen u.a. Einengungen bei der Wissensrepräsentation, ein verlangsamter Konstruktionsprozess bzw. Einflüsse durch Ausschlussverfahren/Raten gehören. Insbesondere erstere und damit zusammenhängende Fehlinterpretationen bzw. Beeinträchtigungen in der Wahrnehmung interindividueller Differenzen lassen die offene Variante geeigneter erscheinen (vgl. Kapitel 2.3.2.1). Allerdings ist diese ebenso mit Einschränkungen behaftet. Hierzu gehört v.a. die größere kognitive Belastung bei der selbstständigen Benennung von Konzepten und Verbindungswörtern[73]. Zudem besteht die Gefahr der Repräsentation nicht relevanter Relationen, die zu interindividuell verzerrenden Auswertungsergebnissen führen kann. Ein weiterer Punkt ist die eingeschränkte Aussagekraft nicht repräsentierter Inhalte und Strukturen, die in der Konstruktions- bzw. in der Modifikationssituation u.U. nicht in den Sinn (Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnis) gekommen sind, obschon sie prinzipiell in den kognitiven Strukturen vorhanden sind.

[73] Vor allem die selbstständige Formulierung von möglichst präzisen Konzepten und Verbindungswörtern, bei der die individuelle sprachliche Ausdrucksfähigkeit von Bedeutung ist, stellt auch im Kontext von systemischem Denken einen zentralen Einflussfaktor auf die Wissensexternalisation dar (vgl. Kapitel 2.2.4). Sie kann besonders dann problematisch werden, wenn sie nur gering ausgeprägt ist. Die hierdurch hervorgerufene kognitive Belastung bei der Verbalisierung kann sich u.U. negativ auf das Concept Mapping selbst auswirken, z.B. über motivationale Einbußen.

- Größere Freiheitsgrade und damit eine größere Selbstbestimmtheit bei der Wissensrepräsentation werden – wie sich in der Pilotierung gezeigt hat (vgl. Kapitel 4.1) – mit positiven motivationalen Effekten in Verbindung gebracht (vgl. Kapitel 2.3.2.1): Die größere Selbstbestimmtheit wirkt sich gemäß Bernd et al. (2000: 32) positiv auf die Motivation aus, die wiederum über eine verstärkte Auseinandersetzung auf das Concept Mapping positiv einwirkt und über eine tiefere Elaboration möglicherweise ein getreueres Bild des individuellen Wissens bietet.

Trotz Einschränkungen erscheint die offene Variante insgesamt geeigneter für die Erfassung individuellen Systemwissens und seiner interindividuellen Unterschiede. Dies betrifft v.a. die höhere interindividuelle Sensitivität und die potenziell valideren Informationen über die inhalts-/strukturbezogene Wissenskomponente, die mit der offenen Variante assoziiert werden. Der Rückschluss über die graphisch-verbal repräsentierten Inhalte/Strukturen auf das zugrundeliegende Systemwissen und die dahinter stehende Anwendung der einzelnen Fähigkeiten erscheint nur bei der offenen Variante mehr oder weniger (zweifelsfrei) möglich, da hier keine vorgegebenen Parameter einen Einfluss auf die Externalisation/Repräsentation des Systemwissens nehmen und keine Auswahl-/Rateprozesse möglich sind. Dies bedeutet jedoch zugleich, dass der Zugriff auf vorhandenes Systemwissen u.U. aufgrund fehlender Abrufreize eingeschränkt sein kann und in der Folge u.U. nicht das gesamte Systemwissen repräsentiert wird (vgl. Kapitel 2.3.1). Hingegen ermöglicht die selbstständige Repräsentation einen besseren Zugriff auf das repräsentierte Wissen selbst (Bell 2004) bzw. weiterführende Schlussfolgerungsprozesse (Hildebrandt 2006), wobei in Bezug auf letztere wiederum die Reaktivität der Methode selbst von Bedeutung ist.

Mit dem Einsatz der offenen Variante werden negative motivationale Einflüsse zu unterbinden beabsichtigt. Es ist jedoch zu beachten, dass u.U. nicht alle Proband/innen von dem hohen Freiheitsgrad profitieren. Dies könnte v.a. Leistungsschwächere betreffen, für die die Offenheit mit größeren mentalen Herausforderungen verbunden sein kann und die Repräsentation u.U. einschränkt.

Durch das offene Format ist es den Proband/innen frei gestellt, welche Begrifflichkeiten sie wählen, wie und in welche Richtung sie diese miteinander verknüpfen und wie sie die Verknüpfungen beschriften, d.h. welche Verbindungswörter sie wählen. Um eine Fokussierung des Konstruktionsprozesses auf das System Braunkohleabbau und die graphisch-verbale Repräsentation seiner Merkmale in Konzept- bzw. Propositionsform sicherzustellen, wird über entsprechend formulierte Aufgaben eine diesbezügliche Aufmerksamkeitslenkung angeregt (vgl. Kapitel 2.3.2.3). Wie in Kapitel 2.3.2 gezeigt, lässt sich der Konstruktionsprozess über eine gezielte Instruktion (Aufgabenstellung) dahingehend steuern, dass bestimmte Relationsarten verstärkt Verwendung finden. Dies wird für eine Eingrenzung auf Konzepte bzw. Propositionen mit Systemrelevanz angestrebt.

Aus den in Kapitel 2.3.2 genannten Gründen wird auf die Vorgabe einer hierarchischen CM-Struktur verzichtet. Es wird stattdessen die Repräsentationsweise den Proband/innen selbst überlassen, um die Untersuchung der Fähigkeit zur Identifikation der Systemstruktur nicht zu beeinflussen. Zudem wären bei einer hierarchischen Struktur zusätzliche kognitive Ressourcen für die Erstellung und Aufrechterhaltung dieser Hierarchie aufzuwenden, die sich ggf. auf den Konstruktionsprozess negativ auswirken könnten (zusätzliche kognitive Belastung).

In der Interventionseinheit wird das Concept Mapping computerbasiert durchgeführt. Grund dafür sind die in Kapitel 2.3.2.1 geschilderten Vorteile der digitalen Variante, v.a. die geringere kognitive Belastung bei der Konstruktion und die leichteren Modifikationsmöglichkeiten, die letztlich mit einer besseren/genaueren Repräsentation assoziiert werden. Ferner wird der computerbasierten Durchführung eine höhere interne Validität zugeschrieben (Hippchen 1995). Für das Concept Mapping wird

die Software CmapTools in der Version 6.01.01 verwendet[74] (Novak & Cañas 2006).

Nachfolgend werden die beiden Erhebungszeitpunkte vorgestellt, an denen die Konstruktion der CM_{vorw} (Kapitel 4.3.1.1) bzw. ihre Modifikation zur CM_{mod} (Kapitel 4.3.1.2) erfolgt.

4.3.1.1 Konstruktion der CM_{vorw} vor der Intervention

Zum Erhebungszeitpunkt t_0 findet eine Concept-Mapping-Phase statt, die der Erfassung des Systemvorwissens über den Braunkohleabbau dient (Kapitel 4.4.1.4). In Anlehnung an Bell (2004) dient diese Phase als Anreiz für eine vertiefte gedankliche Auseinandersetzung mit dem zu repräsentierenden System, das es mental nachzuvollziehen gilt. Während der Konstruktion kann es zu dem erwähnten generativen Moment kommen, wenn im Zuge der Erstellung von Konzepten/Propositionen neue Fragen entwickelt oder eigene Erkenntnisse im Zuge (unter-)bewusster Kognitionsprozesse gewonnen werden (vgl. Kapitel 2.2.4). Die mittels CmapTools erstellte CM_{vorw} wird als Datei abgespeichert, die für die nachfolgende Modifikation während der Intervention kopiert wird.

4.3.1.2 Modifikation der CM_{vorw} während der Intervention

Zu Beginn der Intervention wird die kopierte Datei mit der CM_{vorw} wieder geöffnet. Das darin repräsentierte Wissen dient bei der visuellen Auswertung als Ausgangspunkt für die Modifikation im Zuge der Aneignung und Ableitung der systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen. In Anlehnung an Hoffmann & Engelkamp (2013) sollte die mentale Anpassung des zuvor bestehenden Wissens in Form von graphisch-verbalen Anpassungen an der CM_{vorw} sichtbar werden, aus der die CM_{mod} hervorgeht. Am Interventionsende (t_1) wird die entstandene CM_{mod} abgespeichert.

Für die Proband/innen liegt mit der CM_{vorw} zu Interventionsbeginn in Anlehnung an Bräutigam (2014) bereits eine fokussierte Systemrepräsentation vor, die auf der Basis des eigenen Vorwissens erstellt wurde. Sie enthält die zuvor subjektiv als relevant angesehenen Systemmerkmale. Diese Repräsentation fungiert in der Intervention als Organisations-/Strukturierungswerkzeug im Sinne eines advance organizers, indem sie Anknüpfungspunkte/Andockstellen für die Integration neuer Systeminformationen und damit Keimzellen für die Anpassung der bestehenden Inhalte/Strukturen bietet (vgl. Kapitel 2.2.4 und 2.3.2.3). Im Rahmen dieser Brückenfunktion wird die Assimilation/Akkomodation innerhalb eines logischen Gesamtkonzepts bzw. einer sinnstiftenden Gesamtstruktur unterstützt, wobei die bereits vorwissensbasiert repräsentierten Inhalte/Strukturen als Hinweise bzw. Stichwörter und damit als Abrufreize wirken. Hierbei stellt die CM_{vorw} selbst eine Möglichkeit zur Auslagerung von Gedanken auf die graphisch-verbal repräsentierten Inhalte/Strukturen dar, sodass die Belastung des Kurzzeit-/Arbeitsgedächtnisses reduziert werden kann.

Im Zuge der Modifikation sollten die gleichen kognitiven Prozesse wirksam sein wie bei der Konstruktion der CM_{vorw}, die eine vertiefte gedankliche Durchdringung (Elaboration) des Systems erforderlich machen (vgl. Kapitel 4.3.1.1). Angesichts der bereits repräsentierten Inhalte/Strukturen brauchen die kognitiven Kapazitäten bei der Modifikation nicht mehr, wie bei der CM_{vorw}-Konstruktion, in dem Maße auf die Wissensexternalisation konzentriert zu werden, sondern können vielmehr für die Korrektur von Fehlvorstellungen, die innere Ausdifferenzierung bzw. die Erweiterung um neue Inhalte/Strukturen aufgewendet werden (vgl. Kapitel 2.3.2.3). Im Kontext der parallel stattfindenden visuellen Auswertung kann dies u.U. eine stärkere visuelle Suche nach systemrelevanten Informationen bewirken, die mit dem eigenen, zuvor externalisierten Systemwissen abgeglichen wird (vgl. Kapitel 3.3). Im Falle

[74] http://cmap.ihmc.us/cmaptools/ [zuletzt geprüft am 05.10.2018]

einer auf die Auseinandersetzung mit den bereits repräsentierten Inhalten/Strukturen zurückzuführenden Bild- bzw. Kartenauswertung ist davon auszugehen, dass die Modifikation infolge einer konzentrierteren Beschäftigung mit dem eigenen Systemvorwissen u.U. ein größeres reaktives Moment aufweist, d.h. originär CM-basierte und nicht bild- bzw. kartenbasierte Denkprozesse auslöst, auch im Vergleich zur CM_{vorw}-Konstruktion davor. Dies kann in Anlehnung an Bräutigam (2014) mentale Simulationsprozesse implizieren, bei denen kognitive Ressourcen z.B. ausschließlich darauf verwendet sein können, bestehende Lücken in der CM_{vorw} zu schließen.

Trotz der höheren Reaktivität erscheint der Modifikationsansatz anstelle der erneuten Konstruktion in einem Posttest aus den folgenden Gründen zielführender:

1.) Aus Sicht der Kognitionspsychologie beschreibt Lernen einen Prozess der aktiven, selbstgesteuerten Konstruktion und Modifikation mentaler Repräsentationen im Zuge von Assimilations-/ Akkomodationsprozessen (vgl. Kapitel 2.3.1). Im Kontext des Forschungsinteresses erscheint v.a. die Tatsache von zentraler Bedeutung, dass sich bei der Modifikation der Fokus von der erstmaligen Externalisation hin zur Anpassung durch Erweiterung, Ausdifferenzierung, Korrektur, Entfernung bzw. Uminterpretation verschiebt. Während bei einem klassischen Posttest die Proband/innen dazu gezwungen wären, neben neuen Erkenntnissen auch die alten, bereits in der CM_{vorw} repräsentierten Inhalte/Strukturen erneut wiederzugeben, fokussiert sich ihre Tätigkeit bei der Modifikationsvariante weitestgehend auf die Anpassung des Vorwissens an die bei der visuellen Auswertung gewonnenen Informationen. Ausgangspunkt hierfür kann die Bild- bzw. Kartenauswertung sein und/oder die Auseinandersetzung mit der CM_{vorw} selbst (reaktives Moment). Trotz der Gefahr letzteren stellen die o.g. Punkte die besondere Stärke des Modifikationsansatzes dar, mittels dessen es im Vergleich zu einem klassischen Posttest besser bzw. genauer möglich zu sein scheint, Veränderungen am Systemmodell über das Systemwissen zu erfassen.

2.) Eine zwischen Prä- und Posttest stattfindende Intervention kann aufgrund ihres Zeitbedarfs dazu führen, dass Systemwissen, das v.a. zu Interventionsbeginn erworben wurde, zwischenzeitlich wieder vergessen wird. Grund hierfür ist der in Kapitel 2.3.1 beschriebene Umstand, dass die Zugänglichkeit zu aufgebauten kognitiven Strukturen mit fortschreitender Dauer dann abnimmt (Spurenzerfall), wenn länger nicht mehr auf diese zugegriffen wird bzw. wenn Interferenzen auftreten. Vor dem Hintergrund des Forschungsinteresses ist es unabdingbar, so viele Informationen über bild- bzw. kartenbasierte Denkprozesse wie möglich zu erfassen. Angesichts des natürlichen Prozesses des Vergessens ist es fragwürdig, inwiefern sich ein klassisches Prätest-Posttest-Design dazu eignet, Informationen zu erfassen, die unmittelbar zu Beginn der Intervention angeeignet werden. Die Gefahr von Informationsverlusten scheint bei längerer Interventionsdauer (75 Minuten) sowie bei einem hohen Informationsgehalt zu groß. Der gewählte Modifikationsansatz ermöglicht demgegenüber, Änderungen von Beginn an graphisch-verbal festzuhalten.

3.) Eine Aufforderung, im Posttest eine CM zu konstruieren, die neben neuen Erkenntnissen auch das bereits im Prätest repräsentierte Systemwissen enthalten soll, läuft Gefahr, sich negativ auf die Motivation auszuwirken: In der Pilotierung ist die erneute Konstruktion von zahlreichen Proband/innen negativ kommentiert worden, da sie als ein nochmaliges Darstellen des eigenen Wissens in erweiterter/angepasster Form empfunden wurde[75]. Differenziert betrachtet könnte dies u.U. nur auf jene Proband/innen zutreffen, die während der Intervention kaum Hinzugewinne zum

[75] Auch die Erstellung von Notizen in der Intervention als Gedächtnisstütze bei der anschließenden Konstruktion einer Posttest-CM, wie sie im ursprünglichen Design vorgesehen war, ist von zahlreichen Proband/innen in ihrer Sinnhaftigkeit angezweifelt worden. Sie wurde als eine unnötige doppelte Aufgabe wahrgenommen.

eigenen Systemvorwissen verzeichnen konnten. Basierend auf den eigenen Beobachtungen und den Ergebnissen der Befragungen in der Pilotierung erscheint die Modifikation jedoch insgesamt weniger fragwürdig gewesen zu sein als die erneute Konstruktion (vgl. Anhang 1).

4.) Aus forschungsmethodischer Sicht stellt sich bei einem Prätest-Posttest-Design im Rahmen der offenen Variante ohne (steuernde) graphisch-verbale Vorgaben die Frage, inwiefern Differenzen zwischen Prä- und Posttest auf eine dazwischenliegende Intervention zurückgeführt werden können. Dies betrifft etwa die Frage, wie mit einer Proposition umzugehen ist, bei der im Posttest ein anderes Verbindungswort verwendet wird als im Prätest: Ist dies absichtlich oder eher zufällig geschehen, weil das zuvor verwendete Verbindungswort nicht mehr erinnert werden konnte? Die gleiche Frage stellt sich in Bezug auf eine umgedrehte Pfeilrichtung: Ist die Richtungsänderung absichtlich vorgenommen worden oder das Ergebnis eines Kognitionsprozesses, bei dem der betroffene Zusammenhang beim zweiten Mal lediglich anders herum gedacht worden ist, z.B. eine Repräsentation im Passiv statt im Aktiv? Eine derartige Unsicherheit bezüglich des Ursprungs erscheint bei der Modifikation des eigenen Vorwissens weniger gegeben, da die eigenen Inhalte/ Strukturen stets vor Augen geführt werden und die Konzentration insbesondere auf deren Modifikation gerichtet ist. Unterschiede erscheinen daher als ein wesentlich stärkerer Indikator für bewusste, d.h. absichtlich vollzogene Veränderungen (infolge von Lernprozessen).

Aus der Gesamtheit der o.g. Gründe zeigen sich die besonderen Vorteile der Modifikationsvariante gegenüber einem klassischen Prätest-Posttest-Ansatz. Aus forschungsmethodischer Sicht kritisch zu hinterfragen ist der unterschiedliche Zeitrahmen der Konstruktions- (30 Minuten) und Modifikationsphase (75 Minuten)[76] sowie deren unterschiedliche Zielsetzungen. Mit Blick auf die Forschungsfragen/ -hypothesen bietet sich diese Variante jedoch in besonderer Weise als Vorgehensweise an, um jene systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen möglichst umfassend und detailliert zu erfassen (Sensitivitätsaspekt), die bei der visuellen Auswertung angeeignet bzw. generiert werden.

4.3.2 Fragebögen zur Erhebung der KVs

Ein Teil der personalen Variablen in Kapitel 4.2.1 wird unmittelbar zu Beginn der Interventionseinheit mittels Fragebogen A erfasst (Kapitel 4.3.2.1). Verschiedene Externalisationsvariablen im Zusammenhang mit der CM_{vorw}-Konstruktion werden anhand daran unmittelbar anschließender retrospektiver Selbstauskünfte über Fragebogen B erhoben (Kapitel 4.3.2.2). Moderatorvariablen im Kontext der visuellen Auswertung und mentalen Anpassung des Systemmodells bzw. -wissens werden zusammen mit Externalisationsvariablen bezüglich der Repräsentation dieser Anpassungen durch Modifikation der CM_{vorw} ebenfalls über retrospektive Selbstauskünfte im Rahmen von Fragebogen C ermittelt (Kapitel 4.3.2.3). Alle drei Fragebögen sind mittels der Software LimeSurvey nach den gültigen Richtlinien für die Fragebogenkonstruktion (Bortz & Döring 2006; Raithel 2008; Kirchhoff et al. 2010) digital erstellt worden und enthalten z.T. erprobte Items/Itemsskalen. Die Beantwortung erfolgt ebenfalls digital.

[76] Nach Maxwell (1994) erhöht bei einem klassischen experimentellen Prätest-Posttest-Design ein längerer Posttest die Teststärke, d.h. die Wahrscheinlichkeit, einen durch eine Intervention hervorgerufenen (Lern-)Effekt erheben zu können: „*In addition to being only slightly worse than the optimal solution, the 75%-25% split will often be substantially superior to at least the weaker of the two standard designs (equal pretest-posttest and lengthened posttest). Thus, in the absence of prior knowledge, statistical considerations would suggest allocating approximately 25% of the assessment time to the pretest and 75% to the posttest*." (ebd., S. 149). In dieser Arbeit nimmt die Konstruktion 29% und die Modifikation 71% der Testzeit ein. Inwiefern sich die auf statistischen Berechnungen beruhende Erkenntnis des Autors auf quasi-experimentelle Designs übertragen lässt, die vom klassischen Prätest-Posttest-Format abweichen, bleibt ungeklärt.

4.3.2.1 Fragebogen A: Dispositionale Ausprägung

Die Erhebung der dispositionalen Ausprägung einer Reihe personaler Variablen erfolgt über Items (Anhang 2), die die verschiedenen Komponenten der Interventionseinheit betreffen:

- *Grunddaten*: Angelehnt an Kollar (2012) und Ditter (2013) sind Items zu Alter, Geschlecht, Klassenstufe, wöchentlichem Stundenumfang in Erdkunde/Geographie[77], Beherrschung der deutschen Sprache[78] und den letzten Schulnoten in Erdkunde/Geographie bzw. GWG, Deutsch[79] sowie Mathematik[80] enthalten. Zum Abschluss wird wie bei Kollar (2012) das physische Sehvermögen im Kontext einer Rot-Grün-Sehschwäche mittels Ishihara-Farbtafel getestet.

- *Umgang mit dem Computer*: Items zur Erfahrung und Nutzungshäufigkeit stammen aus Ditter (2013) und beruhen auf der deutschen Übersetzung von Spannagel & Bescherer (2009) des von Cassidy & Eachus (2002) entwickelten *computer user self-efficacy scale*. Die Items zur Selbstwirksamkeit stammen ebenso aus Ditter (2013) und sind dort in sprachlich angepasster Form aus der *Skala zur medienbezogenen Selbstwirksamkeit* in Horn & Schweizer (2010: 202f.) entnommen, die eine Kurzfassung der Itemskala von Cassidy & Eachus (2002) darstellt. Cronbach's Alpha (α), das als Maß für die interne Konsistenz nach Bortz & Döring (2006) bei $\alpha > 0{,}800$ als hinreichend gut gilt, beträgt bei Horn & Schweizer (2010) $\alpha = 0{,}900$ ($N = 462$) und bei Ditter (2013) $\alpha = 0{,}847$ ($N = 270$). In der Pilotierung ($N = 65$) betrug $\alpha = 0{,}852$.

- *Braunkohleabbau* und *Nachhaltigkeit*: Die beiden inhaltlich neu ausgerichteten Items zur Vorerfahrung stammen konzeptionell aus Ditter (2013) bzw. Spannagel & Bescherer (2009).

- *Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern* bzw. *topographischen Karten*: Die Items variieren zwischen den Gruppen in Bezug auf das jeweilige Medium. Sie sind in ihrer Abfolge, Formulierung und den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten zum Zweck der Vergleichbarkeit identisch. Die Items zur schulischen/privaten Nutzungshäufigkeit stammen aus Kollar (2012) und Ditter (2013), während beim Item zur Häufigkeit der Erderkundung die Frage umformuliert wurde. Beim Item zur Nutzungsform in der Schule sind die bei Kollar (2012) und Ditter (2013) ursprünglich fünf Antwortmöglichkeiten zu drei zusammengefasst. Aus Ditter (2013) stammt die inhaltlich auf die Erfassung der satellitenbildbezogenen Selbstwirksamkeit angepasste o.g. Skala von Horn & Schweizer (2010: 202f.). Die interne Konsistenz liegt bei Ditter (2013) bei $\alpha = 0{,}866$ ($N = 261$). Wegen $\alpha = 0{,}856$ in der Pilotierung ($N = 64$) wird für die Selbstwirksamkeit ein Skalenindex angegeben. Ein selbst entwickeltes Item zielt auf die individuelle Präferenz bei der Raumbetrachtung in Google Maps ab.

- *Mind Mapping* und *Concept Mapping*: Beide Items zur Vorerfahrung mit der jeweiligen Methode stammen konzeptionell aus Ditter (2013) bzw. Spannagel & Bescherer (2009).

---

[77] Da die verwendeten Arbeitsmedien im schulischen Kontext v.a. im Geographieunterricht zum Einsatz kommen, ist von zentraler Bedeutung, welche Proband/innen Geographie als Leistungskurs (vierstündig) oder als Grundkurs (zweistündig) gewählt haben und welche keinen Geographieunterricht in der Kursstufe haben.

[78] Anhand dieses Items können mit Blick auf Proband/innen mit Migrationshintergrund potenzielle sprachliche Einflüsse auf das Concept Mapping bzw. auf das Verständnis der Arbeitsblätter/Aufgaben Berücksichtigung finden.

[79] Die letzte Schulnote in Deutsch wird herangezogen als Indiz für die individuelle Ausprägung verbaler Fähigkeiten bzw. Kompetenzen gemäß den Bildungsstandards im Fach Deutsch (KMK 2003), deren Bedeutung für die Erschließung (Lesen) und kognitive Verarbeitung von Informationen (Denken) sowie die Externalisation/Repräsentation eigenen Wissens (Schreiben) u.a. aus der Forschung zum systemischen Denken (vgl. Kapitel 2.2.4), der Concept-Mapping-Forschung (vgl. Kapitel 2.3.2), der Bildwissenschaft (vgl. Kapitel 2.4.4.2) und der Kartendidaktik (vgl. Kapitel 2.4.3.2) bekannt ist.

[80] Die letzte Schulnote in Mathematik wird als Indiz herangezogen für logisches, analytisches, strukturiertes und abstraktes Denken, auf dem das Fach besonders beruht (Heymann 1996), die ansatzweise ebenso von Bedeutung sind für systemisches Denken (vgl. Kapitel 2.2.4), Concept Mapping (vgl. Kapitel 2.3.2) sowie die Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (vgl. Kapitel 2.4.2.2) bzw. Karten (vgl. Kapitel 2.4.3.2).

Über diese Items hinaus ist bei der Haupterhebung auch das dispositionale Interesse am System Braunkohleabbau, an der Nachhaltigkeitsthematik sowie am Concept Mapping abgefragt worden (Anhang 2). Die Erhebung erfolgte jeweils über drei sprachlich leicht angepasste Items aus dem Fragebogen von Fuß (2006). Durch einen systemtechnischen Fehler bei der Datenerhebung, der erst zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt wurde, liegen keine Daten für diese Items mehr vor. Da eine Wiederholung der gesamten Untersuchung aus zeitlich-organisatorischen Gründen (insbesondere aufgrund des hohen zeitlichen Aufwands der Akquise neuer Kursstufenschüler/innen) nicht möglich ist, muss auf Auskünfte über dispositionales Interesse verzichtet werden. Der Verlust dieser Datenbasis ist allerdings insofern weniger problematisch, als die dispositionale Bedeutungsvariante des Interessenkonstrukts (lediglich) Auskunft gibt über die situationsübergreifende generelle Verhaltenstendenz (Krapp 2010: 17ff.) gegenüber z.B. einem Lerninhalt oder einer anzuwendenden Methode. Sie kann dazu führen, dass „*Schülerinnen und Schüler mit hohem Interesse für ein bestimmtes Wissensgebiet* […] *z.B. eine qualitativ höherwertige Wissensstruktur*“ (ebd., S. 21) aufbauen. In Abhängigkeit zum individuellen Fähigkeitsniveau stellt das situationale Interesse die zweite Bedeutungsvariante des Konstrukts dar. Während das Dispositionale als Auskunft über ein grundlegendes Persönlichkeitsmerkmal von einem entsprechenden Wissensniveau abhängig ist, liefert das Situationale „*als ein aktueller, im konkreten Erleben und Verhalten beobachteter Zustand*“ (ebd., S. 18) lernprozessbezogene Auskünfte. Da „*ein Interesse im Lernprozess völlig neu entstehen und für kürzere oder längere Zeitspannen aufrecht erhalten werden*“ (ebd., S. 19) kann, ist es möglich, dass sich aus einem gering ausgeprägten dispositionalen Interesse, „*wenn es* […] *gelingt, die Neugier an einem neuen Thema zu wecken und soweit zu stabilisieren, dass daraus ein situationales Interesse erwächst*“ (ebd., S. 19), in einer Lernumgebung mit als interessant empfundenen Merkmalen ein vergleichsmäßig größeres situationales Interesse entwickeln. Während das Dispositionale somit als ein Eingangsinteresse zu verstehen ist, gibt das Situationale Auskunft über das konkrete Empfinden von Interessantheit, z.B. in Bezug auf eine bevorstehende oder abgeschlossene Handlung. Vor dem Hintergrund des Forschungsinteresses ist das über die Fragebögen B und C erfasste situationale Interesse deshalb von (etwas) größerer Bedeutung, weil es Auskünfte über das konkrete subjektive Empfinden der Proband/innen in Bezug auf die durchgeführte Computerarbeit bei der CM_{vorw}-Konstruktion/Modifikation sowie bei der visuellen Auswertung liefert. Alle Aussagen zum Interesse am System Braunkohleabbau, an der Nachhaltigkeitsthematik sowie an der Methode Concept Mapping beziehen sich nachfolgend ausschließlich auf die situationale Bedeutungsvariante, d.h. die konkret empfundene Interessantheit.

4.3.2.2 Fragebogen B: Situationale Ausprägung der CM_{vorw}-Konstruktion

Eine Reihe personaler Externalisationsvariablen hat einen direkten Einfluss auf die CM_{vorw}-Konstruktion. Diese werden im Fragenbogen B (Anhang 3) situational, d.h. unmittelbar nach der Fertigstellung der CM_{vorw} über Selbstauskünfte erhoben. Als Vorlage dient das Erhebungsinstrument von Stracke (2004), das von der Autorin auf der Grundlage älterer Akzeptanzbefragungen (u.a. von Eckert 1998) entwickelt wurde und explizit die folgenden Aspekte erfasst:

- *Interessantheit*: Die Items erfassen rückblickend das situationale Interesse am Concept Mapping. Bei der Autorin war die interne Konsistenz α = 0,74 (N = 22). Es werden vier Items dieser Skala verwendet, für die wegen α = 0,873 in der Pilotierung (N = 45) ein Skalenindex angegeben wird.
- *Handhabbarkeit*: Von der Autorin ist hierunter die praktische Anwendung der Methode abgefragt worden, wobei die interne Konsistenz α = 0,71 (N = 22) betrug. Es sind vier Items in sprachlich leicht angepasster Form übernommen. Ebenfalls sprachlich angepasst sind zwei Items zu den konkreten Schwierigkeiten beim Verknüpfen der Konzepte bzw. beim Benennen der Relationen. Das

Item zu den Problemen bei der Anordnung der Konzepte ist umgeändert in Probleme bei der Benennung von Konzepten, um den Versprachlichungsaspekt detaillierter zu erfassen. Da α = 0,690 in der Pilotierung (N = 45) liegt keine zusammenhängende Skala vor, weshalb vielmehr einzelne Handhabbarkeitsaspekte abgefragt werden.

- *Angemessenheit der Konstruktionszeit*: Ein einzelnes Item erfasst, inwiefern die verfügbare Konstruktionszeit als angemessen empfunden wird.
- *Nützlichkeit*: Von der Autorin wurde hierunter der subjektive Nutzen der praktischen Anwendung der Methode (als potenzieller Ursprung von Freude/Interesse) abgefragt, wobei die interne Konsistenz α = 0,77 (N = 22) betrug. Es werden vier Items zur Bewusstwerdung eigener Wissenslücken, zur Bewusstwerdung des Verständnisses von Zusammenhängen zwischen einzelnen Konzepten, zur Möglichkeit der Wissensrepräsentation sowie zur Bedeutung der Kenntnis des zu repräsentierenden Systems in umformulierter Weise verwendet. Infolge von α = 0,627 in der Pilotierung (N = 45) liegt keine zusammenhängende Skala vor, sondern es werden einzelne Nützlichkeitsaspekte abgefragt.

4.3.2.3 Fragebogen C: Situationale Ausprägung der visuellen Auswertung und CM_{vorw}-Modifikation

Unmittelbar nach der visuellen Auswertung und der parallel erfolgenden Modifikation der CM_{vorw} werden über Fragebogen C (Anhang 4) Selbstauskünfte zu diesen beiden Prozessen erfasst. Zwischen den Gruppen unterscheiden sich lediglich die Items mit unmittelbarem Bezug zum jeweiligen Medium:

- *Intrinsische Motivation bei der visuellen Auswertung*: Mit Blick auf die situationale Motivation bei der visuellen Auswertung werden aus der deutschen Übersetzung von Schaal (2006) in adaptierter Form die Skalen *Interesse*/*Vergnügen* (als Selbstauskunft über die intrinsische Motivation), *Anstrengung*/*Wichtigkeit* (als separater Aspekt mit teilweisem Bezug zu Motivationsfragen) und *Wahrgenommene Kompetenz* (als positiver Prädiktor im Bereich der intrinsischen Motivation) aus dem *intrinsic motivation inventory* im Kontext der *Selbstbestimmungstheorie* von Deci & Ryan (1993) verwendet. Es handelt sich hierbei um ein bereits in vielfältigen Zusammenhängen eingesetztes Erhebungsinstrument, das als hinreichend verlässlich gilt (vgl. u.a. Tsigilis & Theodosiou 2003; Schaal 2006; selfdeterminationtheory.org 2013). Da α = 0,870, α = 0,885 bzw. α = 0,894 in der Pilotierung (N = 52), wird jeweils ein Skalenindex gebildet.
- *Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung*: Durch Auskünfte hierzu ist ein direkter Rückschluss auf wahrgenommene Komplikationen bei der visuellen Auswertung möglich. Die Erfassung erfolgt über drei speziell entwickelte Items, die sich auf Schwierigkeiten bei der Erkennung der Bild- bzw. Karteninhalte sowie beim Vergleich der verfügbaren Bilder bzw. Karten beziehen. Es folgen sechs Items zu Schwierigkeiten bei der Herausarbeitung von Primär- bis Tertiärinformationen. Wegen α = 0,912 in der Pilotierung (N = 52) wird auch hier ein Skalenindex angegeben.
- *Nützlichkeit der visuellen Auswertung*: Angelehnt an die Items zur Nützlichkeit des Concept Mapping wird explizit nach der subjektiven Wirkung der visuellen Auswertung gefragt. Dies bezieht sich konkret auf die Wahrnehmung der raumzeitlichen Dynamik des Braunkohleabbaus im Zuge des Bild- bzw. Kartenvergleichs. Vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsthematik wird ermittelt, wie gut es gelungen ist, auf der Grundlage der visuellen Auswertung ein Verständnis für die jeweiligen Auswirkungen in der ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Dimension zu entwickeln. Mit α = 0,705 in der Pilotierung (N = 52) ist die interne Konsistenz unzufriedenstellend, weshalb einzelne Nützlichkeitsaspekte abgefragt werden.

- *Interessantheit* und *Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation*: Bezogen auf die Modifikation werden die Items aus Fragebogen B (vgl. Kapitel 4.3.2.2) dahingehend wiederverwendet, dass sie sprachlich auf diese Situation angepasst sind. Es entfällt das Item zur Bedeutung der Kenntnis des zu repräsentierenden Systems (Nützlichkeit). Die Nützlichkeit der Modifikation richtet sich auf die Schließung von Wissenslücken, die Erstellung neuer Propositionen und die subjektive Wahrnehmung einer besseren Wissensrepräsentation. Infolge von α = 0,733 bei der Interessantheit bzw. α = 0,785 bei der Nützlichkeit in der Pilotierung (N = 52) liegt jeweils keine zusammenhängende Skala vor, sondern es werden einzelne Interessantheits- bzw. Nützlichkeitsaspekte erfasst.
- *Handhabbarkeit* und *Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation*: Bezogen auf die Handhabbarkeit werden die Items aus Fragebogen B (vgl. Kapitel 4.3.2.2), bis auf jenes zur Leichtigkeit der Verwendung des Concept Mapping, in sprachlich angepasster Form wiederverwendet. Mittels vier Items wird der Transfer der visuell ausgelösten Wissensassimilation/-akkomodation in die CM-basierte Systemrepräsentation (CM_{vorw}-Modifikation) erhoben. Im Mittelpunkt stehen die Schwiergkeiten bei der Repräsentation von Konzepten, ihren Verknüpfungen untereinander sowie bei der Erstellung passender Verbindungswörter – alle auf der Grundlage der gewonnenen Primär- bis Tertiärinformationen. Wegen α = 0,708 in der Pilotierung (N = 52) werden jeweils einzelne Aspekte der Handhabbarkeit und der Schwierigkeiten erhoben.
- *Angemessenheit der Konstruktionszeit*: Ein einzelnes Item erfasst, inwiefern der verfügbare Zeitrahmen für die Modifikation ausgereicht hat.

4.4 Inhaltliche, methodische und didaktische Gestaltung der Interventionseinheit

Für die Untersuchung ist eine vierstündige Interventionseinheit entwickelt worden, deren inhaltlicher Kern das in Kapitel 2.1.4.3 vorgestellte System Braunkohleabbau mit seinen spezifischen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen darstellt. Die Aufgabe der Proband/innen besteht darin, sich dieses System während der Intervention selbstständig anhand der bereitgestellten Luft- und Satellitenbilder bzw. topographischen Karten zu erschließen und dabei die eigene CM_{vorw} entsprechend zu modifizieren. Nachfolgend werden die Struktur und der Ablauf der gesamten Einheit (Kapitel 4.4.1) mit den darin eingebetteten Erhebungsinstrumenten und den bereitgestellten Materialien (Kapitel 4.4.2) vorgestellt.

4.4.1 Ablauf der Interventionseinheit und Einbettung der Erhebungsinstrumente

Die Gestaltung der Interventionseinheit orientiert sich am moderaten Konstruktivismus und den damit verbundenen kognitivistisch-konstruktivistischen Leitlinien für die Gestaltung von Lernumgebungen (Friedrich & Mandl 1997: 259), wobei aus forschungsmethodischen Gründen die Facetten *Lernen als aktiver Prozess*, *Lernen als selbstgesteuerter Prozess* und *Lernen als konstruktiver Prozess* (vgl. in Reinmann & Mandl 2006: 638) im Mittelpunkt stehen. Ebenfalls für die Gestaltung der visuellen Auswertung leitend sind die von Hieber et al. (2009) bzw. Ringel (2012: 181/187) aufgeführten Kriterien für die Gestaltung von Medieneinsätzen sowie die von Reuschenbach (2007) für die Auswertung von Luft- und Satellitenbildern entwickelten Anregungen für Arbeitsmöglichkeiten und -aufträge. Ferner haben die von Mayer (2009) ausgearbeiteten Prinzipien für die Gestaltung von multimedialen Lerneinheiten sowie die Aussagen zur mediendidaktischen Gestaltung bei Kerres (2001) Berücksichtigung gefunden. Der gesamten Einheit liegt ein unterrichtsnaher Ablauf mit Einstieg, Erarbeitung, Ergebnissicherung und Diskussion zugrunde (Rinschede 2007; Künzli & Bertschy 2008).

Die Einheit trägt aus forschungsmethodischen Gründen den Charakter einer gegenstandzentrierten Lernumgebung, die auf die Auswertung des jeweiligen Mediums und die damit verbundene Modifikation der CM_{vorw} ausgerichtet ist. Nach Reinmann & Mandl (2006: 617f.) zeichnen sich derartige Lernumgebungen durch eine stärker instruktionale Prägung mit einem höheren Steuerungsgrad des Lernprozesses aus, die Lernende in eine stärker rezeptive Rolle versetzen und zu Einbußen bei der intrinsischen Motivation führen können. Um Einbußen zu vermeiden wird der gesamten Einheit eine Leitfrage im Sinne einer Cover Story (Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005) gegeben, die wie folgt lautet: „*Ist der Braunkohleabbau nachhaltig*?“. Alle Inhalte und Aktivitäten der Interventionseinheit werden als notwendige Arbeitsschritte für ihre adäquate Beantwortung vorgestellt. In Anlehnung an die Gestaltung der Studie der o.g. Autoren sowie angesichts der pädagogisch-didaktischen Gestaltungsprinzipien von Lehr-Lern-Prozessen (vgl. Kapitel 2.1.3.1) und der Auswahlkriterien für die Selektion von Lerninhalten der BNE (vgl. Kapitel 2.1.4.1) wird den Proband/innen die Aufgabe zugewiesen, sich das notwendige Wissen für ein angemessenes Systemverständnis mithilfe der Luft- und Satellitenbilder bzw. der topographischen Karten selbstständig anzueignen. In diesem Kontext erfolgt die Verzahnung der inhaltlich-fachlichen Lerndimension des Systemwissens mit der methodisch-strategischen Dimension der Wissensaneignung/-repräsentation. Nachfolgend werden die standardisierten, d.h. für beide Testgruppen nahezu identisch ausgearbeiteten Phasen chronologisch vorgestellt.

4.4.1.1 Einstieg und Fragebogen A

Zu Beginn erfolgt ein einführender Einstieg (Reinfried 2006: 122), bei dem der wissenschaftliche Charakter angesprochen und die Inhalte sowie die Leitfrage vorgestellt werden. Hierauf erfolgt die Erstellung eines anonymisierten Personencodes, der als Identifikationsmerkmal bei allen Erhebungsinstrumenten anzugeben ist. Anschließend wird Fragebogen A ausgefüllt (Anhang 5).

4.4.1.2 Methodentraining Nachhaltigkeitsdimensionen

In einem Methodentraining speziell zu den drei Nachhaltigkeitsdimensionen wird das individuelle Verständnis des Nachhaltigkeitsbegriffs abgefragt, bevor eine kurze Filmsequenz mit einer altersgruppengerechten Erläuterung an alltäglichen Beispielen gezeigt wird. Es folgt eine inhaltliche Vorstellung der drei Dimensionen, die am unterrichtlichen Beispiel der Regenwaldrodung veranschaulicht werden. Hierbei werden die wirtschaftlichen Gründe sowie die ökologische Folgen und gesellschaftlichen Auswirkungen diskursiv mit dem Ziel erarbeitet, das Denken in den drei Dimensionen anzuregen. Es wird verdeutlicht, dass diese gedankliche Ausrichtung auf den Braunkohleabbau zu übertragen ist, wobei neben Inhalten auch deren strukturelle Zusammenhänge (Relationen) von zentraler Bedeutung sind. Das Methodentraining dient als mentale Vorbereitung auf die spätere Systemanalyse (Anhang 6).

4.4.1.3 Methodentraining Concept Mapping

Im direkten Anschluss beginnt ein Methodentraining zum Concept Mapping, in dem CMs als übersichtliche Visualisierungsform vorgestellt werden. Es erfolgt eine Einführung in ihre Grundlagen unter den Aspekten Nützlichkeit, Funktionsweise und Repräsentation. Es wird nach Kinchin (2000) explizit darauf verwiesen, ein möglichst genaues Verbindungswort zu wählen, das gemäß Åhlberg (2004b, 2008) ein Verb sein sollte. Ferner wird darauf hingewiesen, auf die Richtung des Verbindungspfeils zu achten und wegen technischen Software-Einschränkungen bei bidirektionalen Verbindungen zwei Relationen zu erstellen, deren Verbindungswörter jedoch nicht identisch sein müssen. Schließlich wird an einem Beispiel vor Augen geführt, dass eine Relation zwischen zwei Konzepten so eng wie möglich erstellt werden soll. Bevor die Konstruktion einer ersten eigenen CM in CmapTools zu den Hauptcharakteren

der TV-Serie *Die Simpsons* kurz (Dauer ca. 5 Minuten) geübt wird (Jonassen et al. 1997; Rice et al. 1998; McClure et al. 1999; Yin et al. 2005), erfolgt eine Erläuterung der Veränderbarkeit aller Bestandteile der CM zu jedem Zeitpunkt (Anhang 7).

4.4.1.4 Vorwissensbasiertes Concept Mapping und Fragebogen B

In der ersten Concept-Mapping-Phase (Dauer 30 Minuten[81]) wird die CM_{vorw} anhand des individuellen Vorwissens konstruiert. Es wird noch einmal darauf hingewiesen, Verben als Verbindungswörter zu verwenden. In Anlehnung an Ossimitz (2000) und Rye & Rubba (2002) wird als Hilfestellung das Startkonzept »Braunkohletagebau« bzw. »Abbau im Braunkohletagebau« vorgeschlagen. Neben der fokussierenden Aufgabenstellung (Liu & Hinchey 1996) „*Erstellen Sie alleine eine Concept Map zu dem Thema Der Braunkohleabbau und seine Auswirkungen auf die Wirtschaft, Umwelt & Gesellschaft*“ werden Orientierungsfragen vorgegeben, um sich im Rahmen der drei Dimensionen in das System hineinzudenken. Um die Anzahl der Fragen zu begrenzen, wird zu Beginn mündlich mitgeteilt, relevante Ursachen, Prozesse und Folgen auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen und in verschiedenen zeitlichen Dimensionen zu denken. Zudem wird vermittelt, Aspekte ggf. zu berücksichtigen, die bereits unterrichtlich behandelt oder auf eine sonstige Art und Weise kennengelernt worden sind bzw. die sich aus vergleichbaren Themen übertragen lassen. Anschließend wird die CM_{vorw} in CmapTools konstruiert. Es folgt die Beantwortung von Fragebogen B (Anhang 8).

4.4.1.5 Methodentraining Arbeitsmedium

Mit Blick auf die bevorstehende Intervention erfolgt eine Thematisierung des jeweiligen Arbeitsmediums mit dem Ziel, schulisches/privates Wissen zu reaktivieren.

- *Luft- und Satellitenbilder*: Es erfolgt eine kurze Sensibilisierung bezüglich der fernerkundlichen Entstehungsgrundlagen wie elektromagnetisches Spektrum, Kanäle und deren Informationsgehalt (Horning 2001), Kanalkombinationen und Farbgebung. Am Beispiel eines Satellitenbildes wird die unterschiedliche Farbgebung bei Echt- und Falschfarbenbildern demonstriert und es werden diesbezügliche Differenzen in der Wahrnehmbarkeit von Sachverhalten, ihren Eigenschaften und gesundheitlichen/jahreszeitlichen Zuständen angesprochen. Es folgt ein Hinweis auf die Möglichkeit zur Veränderung der Farbgebung bei der eigenen Auswertung.
- *Topographische Karten*: Neben der Sensibilisierung für den hohen Informationsgehalt steht die Beachtung des Kartenmaßstabs und dessen Einfluss auf die dargestellten Karteninhalte im Vordergrund. Des Weiteren wird auf die Bedeutung der Kartenlegende/-schrift hingewiesen.

Zum Abschluss wird beiden Testgruppen an einem Beispiel verdeutlicht, zunächst die in ihren Farben, Formen und Strukturen hochkomplexen Bilder bzw. Karten in ihrer Gesamtheit auf sich wirken zu lassen, bevor im Rahmen der Fenstermethode der Einstieg in eine strukturierte Auswertung erfolgt: Nachdem zuerst einzelne Bild- bzw. Kartenbereiche in ihrer inhaltlichen Fülle vollständig nacheinander betrachtet worden sind, erfolgt ihre räumliche wie inhaltliche Verknüpfung (Beckel & Winter 1989; Wallert 1993; Claaßen 1997a; Gaffga 1997; Kaminske 2001; Lenz 2006b: 345; Hüttermann 2012a: 207). Mit dieser mentalen Einstimmung auf die visuelle Auswertung werden die Proband/innen in eine kurze Zwischenpause entlassen (Anhang 9).

[81] Die Dauer ist in der Pilotierung getestet worden (vgl. Anhang 1).

4.4.1.6 Intervention: Visuelle Auswertung, CM_{vorw}-Modifikation und Fragebogen C

Nach der Pause wird über eine kurze Filmsequenz[82] die Aufmerksamkeit auf die bevorstehende Auswertung des Arbeitsmediums unter gleichzeitiger Modifikation der CM_{vorw} gerichtet[83] und der konkrete Arbeitsauftrag erteilt: „*Gehen Sie selbständig auf eine Reise zu den größten Baggern der Welt und entdecken Sie dabei die Auswirkungen des Braunkohlenabbaus auf die Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Bearbeiten Sie die Aufgaben 1 bis 4 als Hilfestellung für die Arbeit mit den Luft-/ Satellitenbildern* [*topographischen Karten*].“. Es folgt eine Vorstellung des Programms ArcMap 10 mit der Darstellungsstruktur (Layer-Technik), den eingebetteten Bildern bzw. Karten, den Wechselmöglichkeiten zwischen den nach Aufgaben angeordneten Bildern bzw. Karten sowie den verschiedenen Funktionen wie das Hinein-/Herauszoomen, das An-/Ausschalten von Transparenz/Ebenen zu Vergleichszwecken[84] und dem Wechsel der Kanalkombination (Farbgebung) bei den Luft- und Satellitenbildern. Ferner sind bei beiden Testgruppen das zur Verfügung stehende Medium, die Lokalität (Rheinisches Braunkohlerevier), der Aufnahmezeitpunkt bzw. Gültigkeitszeitraum (Jahreszahl) und die Bildorientierung angegeben (Anhang 10).

Zu diesem Zeitpunkt werden die vorbereiteten Arbeitsblätter (Kapitel 4.4.2.3) ausgeteilt und gemeinsam besprochen. Es wird ihre Verwendung als Unterstützung für die strukturierte visuelle Auswertung und Überführung des Systemwissens in die CM_{vorw} nahe gelegt. Die Integration von neu erarbeitetem Systemwissen in die CM_{vorw} bzw. dessen Anpassung wird als zentrales Ziel hervorgehoben und die Verwendung von Verben als Verbindungswörter erneut betont. Schließlich wird von den Proband/innen die kopierte CM_{vorw} aufgerufen und anschließend ArcMap 10 geöffnet. Die VG öffnet zudem eine vorbereitete PDF-Datei mit den Legenden[85]. Alle Proband/innen können gemäß individueller Vorlieben die verschiedenen Programme und Dateien entweder nacheinander oder gleichzeitig (Split Screen) betrachten; Letzteres bietet der VG ein zeitlich wie räumlich koordiniertes Informationsangebot. Mit der Vorstellung einer Reihe von Orientierungsfragen, die an die Aufgabenstellungen auf den Arbeitsblättern angelehnt sind, beginnt die Intervention. Nach 75 Minuten[86] wird diese beendet und die modifizierte CM_{vorw}, d.h. die CM_{mod}, abgespeichert. Danach geben die Proband/innen in Fragebogen C ihre individuelle Rückmeldung zur visuellen Auswertung und Modifikation (Anhang 11).

4.4.1.7 Abschlussdiskussion

Nach einer Zwischenpause beginnt die abschließende Diskussion, in der einzelne CMs dem Plenum vorgestellt werden, wobei Veränderungen unmittelbar mit den Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten in Verbindung gebracht werden. Es schließt sich eine Diskussion über die Nachhaltigkeit des Braunkohleabbaus mit einer Bewertung der ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen an. Anschließend wird mit Blick auf den aktuellen Ausstieg aus der Atomenergie in Deutschland über alternative Möglichkeiten zur Energieerzeugung gesprochen (Anhang 12).

---

[82] Es handelt sich um einen Auszug aus der TV-Dokumentation *Braunkohle, von großen Baggern und dicker Luft* aus der ARD-Reihe *Quarks & Co.* (http://programm.ard.de/TV/Programm/Jetzt-im-TV/?sendung= 281116379350337 [zuletzt geprüft am 05.10.2018])

[83] Im Kontext der Vorphase seines Ablaufschemas verweist Weidenmann auf die Bedeutung, die aufmerksamkeitslenkende oder inhaltlich steuernde Instruktionen mit Blick auf die nachfolgende Bildauswertung haben, indem Rezipient/innen mit einer bestimmten Erwartung an ein Bild herantreten und/oder relevantes Vorwissen aktiviert wird (vgl. Kapitel 2.4.4.2).

[84] Diese beruhen auf der Verwendung von in Ebenen deckungsgleich übereinander liegenden (georeferenzierten) Bildern bzw. Karten. Bei einem schnellen Wechsel zwischen den Ebenen kann der in Kapitel 3.3 angesprochene animationsähnliche Effekt hervorgerufen werden, in dessen Rahmen raumzeitliche Veränderungen wahrgenommen und ein darauf basierendes lauffähiges mentales Systemmodell entwickelt werden kann.

[85] Eine direkte Einbindung der Legenden in ArcMap 10 ist aus systemtechnischen Gründen nicht möglich gewesen.

[86] Die Dauer ist im Zuge der Pilotierung festgelegt worden (vgl. Anhang 1).

4.4.2 Materialien

Nachfolgend werden die eingesetzten Materialien in Form der zur Verfügung gestellten Luft- und Satellitenbilder (Kapitel 4.4.2.1) bzw. topographischen Karten (Kapitel 4.4.2.2) sowie die als Strukturierungshilfe angebotenen Arbeitsblätter (Kapitel 4.4.2.3) vorgestellt.

4.4.2.1 Luft- und Satellitenbilder

Der Auswahl der Luft- und Satellitenbilder liegt das Hauptkriterium zugrunde, die Erschließung der bildbasierten Systeminformationen zum Braunkohleabbau auf eine möglichst optimale Art und Weise zu ermöglichen. Konkret wird die Selektion durch die folgenden Unterkriterien geleitet:

- *Räumliche Auflösung* (*Bildmaßstab*): Die Bilder sollen derart beschaffen sein, dass sie einen hochaufgelösten Einblick in den repräsentierten Erdraum bieten. Hierdurch soll es möglich sein, das tatsächliche Aussehen von Sachverhalten und Strukturen in einem hohen Detailgrad wahrnehmen (Realitätsgefühl) und auf dieser visuellen Grundlage umfangreiche Systeminformationen erschließen zu können. Gleichzeitig erscheint es hilfreich, dass die Bilder eine überblickartige Zusammenschau großräumiger Strukturen und Zusammenhänge ermöglichen, die zusätzlich zum Systemverständnis beiträgt (vgl. Kapitel 2.4.2.1 bzw. 3.3).
- *Zeitliche Auflösung*: Durch einen visuellen Vergleich von Bildern verschiedener Aufnahmezeitpunkte können Erkenntnisse über raumzeitliche Entwicklungen gewonnen werden (vgl. Kapitel 2.4.2.1). Diese können dazu beitragen, ein Verständnis für die raumzeitliche Ausprägung des Abbaus und der mit ihm verbundenen raumzeitlichen Auswirkungen im Bereich der drei integralen Sphären der Nachhaltigkeit zu entwickeln.

Eine optimale Lösung würden hochaufgelöste Satellitenbilder vom Typ *IKONOS*, *QuickBird*, *WorldView*, *RapidEye*, *GeoEye* oder *ASTER* (≤ 1 × 1 m) darstellen. Da die Aufnahmetätigkeit dieser Satelliten i.d.R. um oder erst nach der Jahrtausendwende begonnen hat, bieten sie nur eine vergleichsweise geringe zeitliche Auflösung von maximal 10 bis 15 Jahren. Diese erscheint im Hinblick auf die langwierigeren Prozesse beim Braunkohlenabbau nur bedingt geeignet. Zudem sind die Aufnahmen (noch) mit hohen Anschaffungskosten verbunden und kommen damit als Informationsgrundlage für formelle Lehr-Lern-Prozesse aktuell nicht in Frage. Aus diesem Grund wird eine Lösung realisiert, die aus der Kombination eines hochaufgelösten Luftbildes für detaillierte Einblicke mit moderat aufgelösten Landsat-Bildern für eine großräumige, überblickartige Betrachtung über mehr als 30 Jahre besteht:

- *Luftbild*: Mittels der Software ERDAS IMAGINE (Version 9.3) sind 83 im Maßstab 1 : 5.000 für das Jahr 2007 digital vorliegende, georeferenzierte Luftbildszenen, die vom *Geodatendienst der Bezirksregierung Köln des Landes Nordrhein-Westfalen* (*Geobasis NRW*) für das Umfeld des Tagebaus Inden kostenfrei zur Verfügung gestellt wurden, zu einem digitalen Orthofoto mit den Kanälen RGB und nahes Infrarot mosaikiert worden (Anhang 13).
- *Landsat-Satellitenbilder*: Über den USGS global visualization viewer[87] des *US Geological Survey* sind georeferenzierte Satellitendaten vom Typ Landsat-5 MSS/TM und Landsat-7 ETM+ mit einer Auflösung von ca. 30 × 30 m pro Bildpixel[88] für 1984 und 2010 bezogen, mittels ERDAS IMAGINE 9.3 zu zwei Satellitenbildern mit je fünf Kanälen (RGB, nahes und mittleres Infrarot) aufbereitet und einer Atmosphärenkorrektur unterzogen worden (Anhang 14 und Anhang 15).

[87] http://glovis.usgs.gov/ [zuletzt geprüft am 05.102.2018]
[88] Nach Lillesand et al. (2008) entspricht eine Landsat-Szene einem ungefähren Bildmaßstab von 1 : 130.000.

4.4.2.2 Topographische Karten

Der Auswahl äquivalenter topographischer Karten liegen die gleichen Selektionskriterien zugrunde wie für die Luft- und Satellitenbilder. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird eine Kombination aus einer großmaßstäbigen Karte für kleinräumige, detaillierte Erkenntnisse und zwei topographischen Karten mit kleinem Maßstab für einen Überblick über großräumige raumzeitliche Aspekte gewählt:

- *Großmaßstäbige Karte*: Von *Geobasis NRW* sind für das Umfeld des Tagebaus Inden kostenfrei georeferenzierte Ausschnitte aus der digitalen DGK 5 aus dem Jahr 2007 bezogen und mittels ERDAS IMAGINE 9.3 mosaikiert worden (Anhang 16).
- *Kleinmaßstäbige Karten*: Für die Jahre 1983 und 2011 sind die analogen Blätter Mönchengladbach (C 5102) und Köln (C 5106) der TK 100 hochaufgelöst digitalisiert und in ERDAS IMAGINE 9.3 georeferenziert und mosaikiert worden (Anhang 17 und Anhang 18).

4.4.2.3 Arbeitsblätter

Die als Hilfestellung angebotenen Arbeitsblätter (Anhang 19) enthalten Arbeitsaufträge, die sich auf die visuelle Auswertung (schwarz gefärbte Aufgaben) sowie die unmittelbare Integration der systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen in die CM_{vorw} und deren Modifikation (rot gefärbte Aufgaben) beziehen. Über die Arbeitsaufträge zur visuellen Auswertung wird eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Bild- bzw. Karteninhalten angeregt, um das Phänomen des flüchtigen Blicks zu unterbinden. Anvisiert werden tiefere semantische Verarbeitungsprozesse, bei denen betreffende Konzepte/Schemata aktiviert und inhaltliche Zusammenhänge identifiziert und spezifiziert werden (Lowe 1993; Schnotz 1993a, 2001; Schnotz et al. 1993; Weidenmann 2006). Im Sinne von Schnotz et al. (1993) beabsichtigen die Aufgaben, die Arbeit am eigenen mentalen Systemmodell zu stimulieren. Da sich die Aufgaben zur CM-Überarbeitung darauf beziehen, wie mit den generierten Systeminformationen im weiteren Verlauf umzugehen ist (Weidenmann 1994: 34, 2006), weisen sie einen höheren Steuerungsgrad auf. Grund hierfür ist die Absicht, Informationsverluste beim kognitiven Transfer zu minimieren, um einen möglichst vollständiges Bild über das (weiter-)entwickelte Systemmodell bzw. Systemwissen zu erhalten. Trotz der instruktionalen Ausrichtung sind die Aufgaben offen gehalten, um keine zu starke Steuerung vorzugeben. Vielmehr ist beabsichtigt, im Sinne des angeleiteten entdeckenden Lernens (Neber 2006: 116ff.; Reinfried 2006: 124; Reinmann & Mandl 2006: 634ff.) ein ausreichendes exploratives Moment zu belassen, in dessen Rahmen Alean & Biber (2005) die Erarbeitung von geographischen Zusammenhängen mittels Satellitenbildern für möglich erachten. Im Hinblick auf systemisches Denken gehen Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) von einer stimulierenden Wirkung des inquiry-based learning aus, das dem entdeckenden Lernen nahe steht (Neber 2006: 115f.). Es wird davon ausgegangen, dass die Herausarbeitung von systemrelevanten Primär- bis Tertiärinformationen durch die formulierten Arbeitsaufträge unterstützt wird. Die Aufgaben sind derart formuliert, dass sie trotz der vorgegebenen Schritte stets Freiraum für die o.g. Selbstentdeckungsprozesse bieten.

Bei der Aufgabenformulierung/-strukturierung haben altersgemäße Erwartungen an die Kompetenzen von Schüler/innen am Ende der Sekundarstufe I im Bereich der Satellitenbild-/Kartenauswertung (Lenz 2006a, 2009, 2012: 192ff.; Hieber et al. 2009; Reuschenbach 2009; DGfG 2012), die Schritte der Luftbild-/Satellitenbildauswertung aus Kapitel 2.4.2.2 bzw. der Kartenauswertung aus Kapitel 2.4.3.2, das Ablaufschema von Weidenmann aus Kapitel 2.4.4.1, die daran angelehnten Schritte für einen erfolgreichen Lernprozess mit Bildern von Hieber & Lenz (2007), die von Reuschenbach (2007) entwickelten Anregungen für Arbeitsmöglichkeiten/-aufträge mit Luft- und Satellitenbildern sowie die Vorgehensweise bei der Auswertung einer topographischen Karte im Schulbuch *TERRA Erdkunde*

Oberstufe Räume und Strukturen (Ernst Klett Verlag GmbH 2010) Berücksichtigung gefunden. Des Weiteren sind die Anforderungen von Lenz (2012: 192ff.) an eine neue Aufgabenkultur im Bereich der geographischen Methodenkompetenz eingeflossen und es ist auf die Verwendung tätigkeitssteuernder Operatoren (Haubrich 1995 in Jahnke 2011; Claaßen 1997a; Hieber & Lenz 2007; Diekmann-Boubaker 2010; DGfG 2012) geachtet worden.

Tabelle 22: Erläuterung zu den Zielsetzungen der Aufgaben auf den Arbeitsblättern

Aufgabennummer mit Erläuterung des Aufgabenziels
1a: Über die Identifikation und Lokalisation von Bild- bzw. Karteninhalten wird eine erste Vertrautheit mit dem Erdraum (Scholz et al. 1983) und der Abbau einer diesbezüglichen kognitiven Übersichts-/Überblickskarte angeregt.
1b: Die Aufmerksamkeit wird gezielt auf jene Inhalte gerichtet (selektionierte Wahrnehmung nach Reuschenbach 2007), die als Systemelemente konkret von Bedeutung sind (Gewinnung von Primärinformationen).
2a – 2c: Es wird die Konstruktion von Beziehungen/Zusammenhängen zwischen den im Bild bzw. auf der Karte sichtbaren Systemelementen fokussiert (Gewinnung von Primärinformationen).
2d: Im Bild bzw. auf der Karte implizit enthaltene Systemelemente stehen im Mittelpunkt, die sich durch weiterführende Kognitionsprozesse (Deutung, Schlussfolgerung) aus den sichtbaren Bild- bzw. Karteninhalten ableiten lassen (Gewinnung von Sekundärinformationen).
2e – 2f: Die Erstellung von Beziehungen/Zusammenhängen zwischen den gedanklich abgeleiteten Systemelementen steht im Fokus (Gewinnung von Sekundärinformationen und ggf. Ableitung von Tertiärinformationen).
3a – 3b: Die Wahrnehmung sichtbarer raumzeitlicher Vorgänge (Systemprozesse) wird angeregt: Der animationsähnliche Vergleich der sichtbaren Bild- bzw. Karteninhalte unterschiedlicher Zeitpunkte ermöglicht die Erfassung von Veränderungen in der Lage, dem Ausmaß, dem Wesen, den Eigenschaften, der Beschaffenheit, der Funktion, dem Zweck bzw. dem Zustand der repräsentierten Sachverhalte. Durch mentale Simulation können raumzeitliche Systemprozesse erschlossen werden (Gewinnung von Primärinformationen in Verzahnung mit Sekundärinformationen).
3c: Durch die Integration der in 3a – 3b gewonnenen Systeminformationen (Erstellung von Beziehungen) werden weiterführende Kognitionsprozesse angeregt, die zur Gewinnung von Sekundär- und ggf. Tertiärinformationen führen sollen.
3d: Die gedankliche Ableitung von nicht unmittelbar sichtbaren Systemprozessen aus den sichtbaren Bild- bzw. Karteninhalten wird erneut angeregt (Gewinnung von Sekundärinformationen und ggf. Ableitung von Tertiärinformationen).
4a – 4b: Identisch zu 3a – 3c, jedoch mit dem Unterschied, dass die Wahrnehmung sichtbarer raumzeitlicher Vorgänge (Systemprozesse) auf eine größere räumliche Maßstabsebene ausgedehnt wird (Gewinnung von Primärinformationen in Verzahnung mit Sekundär-/Tertiärinformationen).
4c: Im Rahmen der Integration der in 4a – 4b gewonnenen Systeminformationen (Erstellung von Beziehungen) werden weiterführende Kognitionsprozesse angeregt, die zur Gewinnung von Sekundär-/Tertiärinformationen führen sollen.
4d: Identisch zu 3d mit dem Unterschied, dass die gedankliche Ableitung von nicht unmittelbar selbst sichtbaren Systemprozessen aus den sichtbaren Bild- bzw. Karteninhalten erneut angeregt wird (Gewinnung von Sekundärinformationen und ggf. Ableitung von Tertiärinformationen).

4.5 Auswertungsmethodik für das Erhebungsinstrument Concept Map

Über die in den CM-Paaren (CM_{vorw} und CM_{mod}) repräsentierten Wissensinhalte/-strukturen wird ein Rückschluss auf die Ausprägung der verschiedenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE gezogen. Die Auswertung erfolgt nach einem vorstrukturierten Schema, das an die in Kapitel 2.3.2.2 beschriebene Praxis in der CM-Forschung angelehnt ist und quantitative Ansätze mit qualitativen kombiniert (Jahn et al. 2015: 357). Die Auswertung betrifft zwei voneinander zu trennende Ebenen, wobei nur die erste der beiden vom gewählten Auswertungsschema unabhängig ist:

1.) *Inhaltlich-strukturelle Ebene*: Unter einem rein inhaltlichen Gesichtspunkt sind die repräsentierten Inhalte und Strukturen auf ihre Bedeutung für das behandelte System Braunkohleabbau hin zu beurteilen. Das Ergebnis dieser Inhaltsanalyse ist eine Differenzierung des repräsentierten Wissens in zum System gehörende und nicht gehörende Bestandteile (Kapitel 4.5.4.5). Erstere lassen sich in ihrem Wesen näher identifizieren bzw. es lässt sich ihr Charakter bestimmen. Mit der inhaltlichen Dimension ist die strukturelle verknüpft, die sich in eine mikro- und eine makrostrukturelle Teildimension aufgliedert. Die in Tabelle 23 dargestellte Gliederung entspricht dem Verständnis der CM-Forschung und Kognitionspsychologie. Es ist diesbezüglich zu beachten, dass die mikrostrukturelle Dimension der Sinneinheiten (Kapitel 4.5.2) zugleich auch die inhaltliche Dimension betrifft, da sie sich in gleicher Weise in ihrem Charakter näher identifizieren lässt. Es ist zu beachten, dass Sachverhalte als Konzepte oder Sinneinheiten repräsentiert sein können (Kapitel 4.5.4.3). Die makrostrukturelle Teildimension betrifft die Anordnung der Bestandteile innerhalb der Gesamtrepräsentation sowie diese als solche (Kapitel 4.5.3 und 4.5.4.4).

Tabelle 23: Nach der Art der Wissenskomponente aufgeteilte CM-Parameter als Indikatoren für die Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE

Art der Wissenskomponente	Betreffender CM-Parameter	Betreffende Fähigkeit(en) systemischen Denkens
Inhalt	Konzepte	Identifikation von Systemelementen & Systemprozessen
Mikrostruktur	Sinneinheiten (eine oder mehrere Propositionen)	Identifikation von Systembeziehungen & Systemprozessen
Makrostruktur	Gesamtstruktur	Identifikation der Systemstruktur
– – –	Anteil der zum System gehörenden Konzepte und Sinneinheiten	Identifikation der Systemgrenze

2.) *Wertigkeitsebene*: In Kapitel 2.3.2.2 ist die Vielfalt der Auswertungsschemata für CMs vorgestellt worden. Aus ihnen wird ein spezifischer Ansatz zusammengestellt, dem die beiden nachfolgenden Bewertungskriterien zugrunde liegen, deren konkrete Implikationen bei der Auswertung in Kapitel 4.5.1 für die Konzepte und in Kapitel 4.5.2 für die Sinneinheiten vorgestellt werden:

a) *Korrespondenz mit einem Referenznetz*: Jede CM wird einer Korrespondenzanalyse, d.h. einem Abgleich mit einem unabhängigen externen Referenznetz unterzogen. Als Referenz dient eine Expertenmap (Anhang 20), die für die ursprünglich geplante Concept-Mapping-Variante im geschlossenen Format entwickelt wurde (vgl. Kapitel 4.1) und sich als valide Bewertungsgrundlage heranziehen lässt[89]. Die darin enthaltenen Inhalte/Strukturen geben Auskunft über das System Braunkohleabbau aus der Sicht der Bereichsexpert/innen. Durch den Einsatz werden Verzerrungen bei der Bewertung zu minimieren beabsichtigt.

b) *Sonstige Systembedeutung*: Jene Inhalte/Strukturen in den CMs, die nicht mit denen des Referenznetzes sinngemäß übereinstimmen (korrespondieren), sind nicht automatisch als falsch/ungültig zu betrachten. In Anlehnung an die Auswertungsschemata von Klein et al. (2002) und Rye & Rubba (2002) wird vielmehr auch ihre grundsätzliche Systembedeutung bewertet. Mit diesem Bewertungskriterium werden Inhalte/Strukturen honoriert, über die

[89] Es handelt sich um das von den Expert/innen überarbeitete Sammelnetz aus Phase II, das mit den neu eingebrachten Konzepte/Propositionen aus Phase III ergänzt wurde. Es kann als Referenz verwendet werden, da in den nachfolgenden Entwicklungsschritten keine grundlegenden inhaltlich-strukturellen Veränderungen mehr durchgeführt wurden.

Systemaspekte richtig repräsentiert werden, die die Expert/innen zuvor u.U. für zu allgemein bzw. für zu einfach angesehen haben oder die möglicherweise nicht aufgenommen wurden, um die Übersichtlichkeit des Referenznetzes nicht einzuschränken. Die Bestimmung der Systembedeutung dieser Inhalte/Strukturen erfolgt für jede CM selbst. Um die Konsistenz der Bewertung sicherzustellen, wird das Referenznetz mit den vergleichsweise am häufigsten auftretenden Inhalten/Strukturen aus den CMs angereichert (alle in Anhang 21 rot markierten Konzepte und Relationen), die während der Auswertung als ebenfalls systembedeutsam eingeschätzt werden[90]. Anhand dieses ergänzten Referenznetzes werden alle CMs abschließend auf eine in sich konsistente Bewertung hin geprüft.

Bereits mit Blick auf die statistische Auswertung ist darauf hinzuweisen, dass beide Ebenen, trotz der Zusammenhänge, voneinander getrennt zu sehen sind. Dies begründet sich darin, dass die Ergebnisse auf der Wertigkeitsebene aus dem gewählten Auswertungsschema mit seiner spezifischen Vorgehensweise bei der Punktevergabe (Kapitel 4.5.1 und 4.5.2) hervorgehen.

Einen Überblick über die Schritte der CM-Auswertung gibt Abbildung 22.

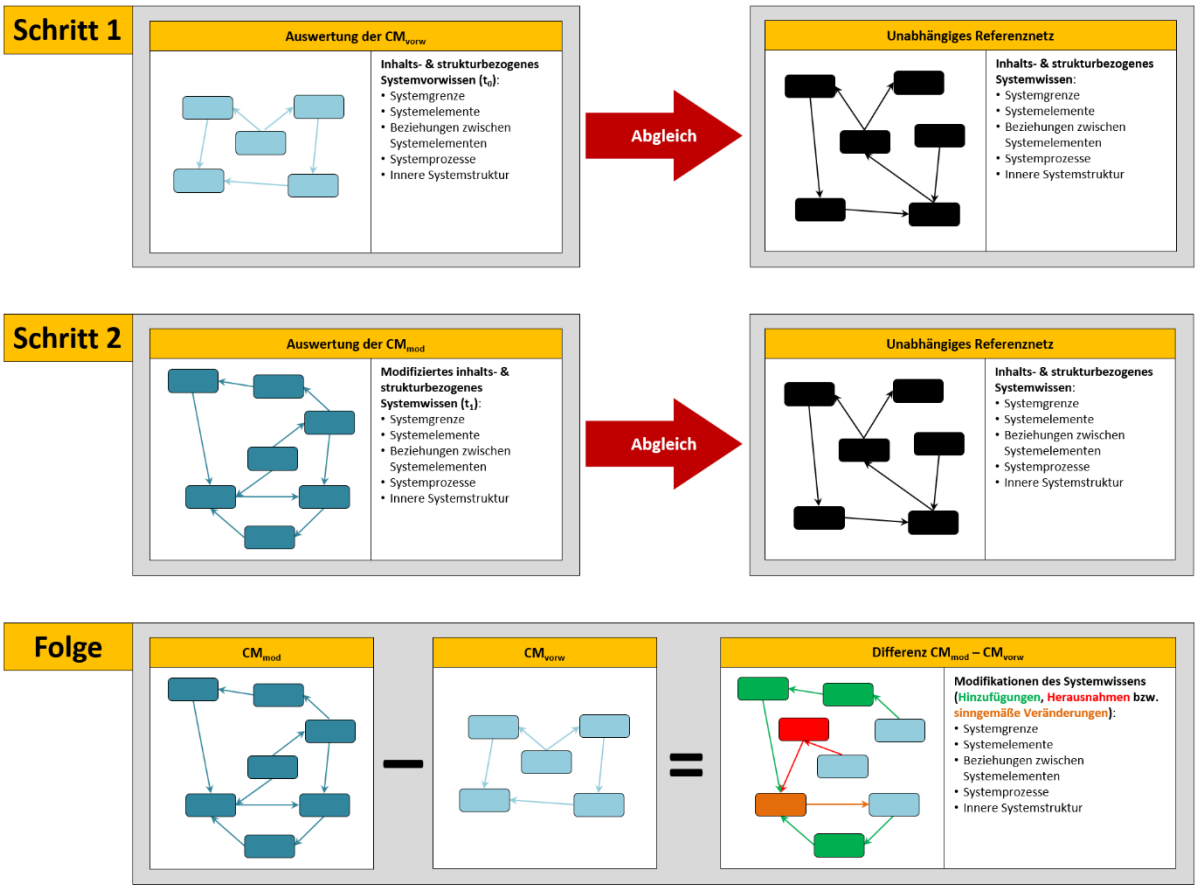


Abbildung 22: Schritte der CM-Auswertung (eigene Darstellung)

[90] Entgegen dem gemeinsamen Konzept im Referennetz ist im ergänzten Netz (Anhang 21) das Konzept *Luftverschmutzung* vom Konzept *Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)* entkoppelt worden und im Konzept *Belastung / Verschmutzung / Schädigung von Umwelt / Natur, von Luft / Boden / Gewässern im Allgemeinen bzw. von Luft / Boden / Gewässern konkret vor Ort* aufgegangen. Letzteres ist wie das Konzept *Zerstörung der Umwelt / Natur im Allgemeinen* aus Konzepten in den CMs der Proband/innen heraus entstanden. Beide zusammen geben Sachverhalte wieder, die nicht im Referennetz der Expert/innen enthalten sind, jedoch im Kontext des Systems durchaus von Bedeutung sind.

Die CM-Auswertung beginnt im ersten Schritt mit der Korrespondenzanalyse, bei der die Inhalte (Konzepte) und Mikrostrukturen (Sinneinheiten) der CM_{vorw} mit denen des Referenznetzes abgeglichen und nach einem vordefinierten Punkteschema bewertet werden. Die vergebenen Punkte werden, zusammen mit einer Beurteilung der Gesamtstruktur, in einer Exceldatei (Anhang 22) den verschiedenen quantitativen Auswertungsgrößen in Kapitel 4.5.1, 4.5.2 und 4.5.3 zugeordnet.

Im zweiten Auswertungsschritt erfolgt eine Korrespondenzanalyse, in deren Rahmen die Konzepte und Sinneinheiten der CM_{mod} bewertet und die vergebenen Punkte zusammen mit der Beurteilung der Gesamtstruktur in der o.g. Exceldatei dokumentiert werden.

Durch die beiden Schritte werden alle Unterschiede zwischen CM_{vorw} und CM_{mod} ersichtlich (vgl. Jahn et al. 2015: 357). Das Hauptinteresse liegt auf der Identifikation der veränderten Inhalte/Strukturen, die folgende drei Fälle betreffen können:

- *Hinzugewinn von völlig neuen Konzepten/Sinneinheiten*: Dies betrifft jene, die in der CM_{mod} völlig neu konstruiert werden und sinngemäß in der CM_{vorw} überhaupt nicht enthalten sind (in Abbildung 22 als *Hinzufügungen* bezeichnet). Als Ergebnis der Wissensassimilation tragen sie zur Erweiterung und Ausdifferenzierung des Systemvorwissens bei.
- *Uminterpretation von Konzepten/Sinneinheiten auf semantischer Ebene*: Dies betrifft jene in der CM_{vorw}, die sinngemäß in der CM_{mod} nicht mehr vorhanden sind, da sie von ihrer Bedeutung (Sinngehalt) her verändert wurden. Dies trifft z.B. zu auf ein Konzept mit einem anderen Sinngehalt bzw. auf ein anderes Verbindungswort, das der Verknüpfung einen anderen Sinnzusammenhang verleiht (in Abbildung 22 als *Sinngemäße Veränderungen* bezeichnet). Uminterpretationen tragen zur Korrektur des Systemvorwissens bei (Wissensakkomodation) und implizieren Ausdifferenzierungen mit einem höheren Detailgrad und/oder mehreren Beispielen.
- *Entfernung von Konzepten/Sinneinheiten*: Dies betrifft jene, die in der CM_{mod} sinngemäß überhaupt nicht mehr vorhanden sind (in Abbildung 22 als *Herausnahmen* bezeichnet).

Nicht im Fokus stehen sinngemäß identische Konzepte/Sinneinheiten sowie lediglich graphisch-verbale Anpassungen, d.h. z.B. ein synonymer Begriff oder ein synonymes Verbindungswort. Auch ein umgedrehter Verbindungspfeil mit einem geänderten Verbindungswort gehört hierzu, sofern der Sinnzusammenhang erhalten bleibt. Operativ erfolgt die Herausfilterung der Veränderungen durch den manuellen Abgleich der CM_{mod} mit der CM_{vorw}, wobei ein Farbcode für sinngemäß identisch, sinngemäß verändert, völlig neu erstellt und vollständig herausgenommen Verwendung findet. Zwei Beispiele zur Auswertung finden sich in Anhang 23.

Wird die in Kapitel 2.3.1 erläuterte Annahme von Hoffmann & Engelkamp (2013) auf die sinngemäß veränderten, völlig neu erstellten oder vollständig herausgenommenen Konzepte/Sinneinheiten übertragen, sollte sich die Modifikation der CM_{vorw} hin zur CM_{mod} auf Veränderungen am Systemmodell bzw. im Systemwissen zurückführen lassen. Auf dieser Annahme aufbauend ist davon auszugehen, dass es anhand des spezifischen Ausmaßes der Veränderungen möglich ist, auf das Ausmaß der Anwendung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE zu schließen.

Angesichts der sprachlichen Anforderungen, die mit der offenen Konstruktion/Modifikation verbunden sind, ist bei der CM-Auswertung darauf zu achten, dass diese nicht auf die rein verbale Ebene beschränkt bleibt. Dies bedeutet, dass nicht die Prüfung auf sprachliche Übereinstimmung im Zentrum steht, wie dies etwa bei rein quantitativen Verfahren vornehmlich der Fall ist, sondern eine inhaltlich ausgerichtete qualitative Bewertung der repräsentierten Inhalte/Strukturen. Vor dem Hintergrund des individuellen Charakters der Wissenskonstruktion/-modifikation (vgl. Kapitel 2.3.1 und Kapitel 2.2.3)

erscheint es angesichts des ebenso individuellen Charakters der Wissensrepräsentation bei der offenen Variante (Kinchin 2000; Klein et al. 2002; Yin et al. 2004, 2005; da Rocha et al. 2008) in Anlehnung an Herl et al. (1999), Rye & Rubba (2002) und Yin et al. (2004, 2005) plausibel und für die Vermeidung von Verzerrungen in den Auswertungsergebnissen unumgänglich, einen im semantischen Bereich hochgradig sensitiven Ansatz zu verwenden. Dies ist ebenso für das Bewertungskriterium der Korrespondenz erforderlich, bei dem eine qualitative Bewertung auf gleiche Sinngehalte/-zusammenhänge eine entsprechende Sensitivität voraussetzt (Yin et al. 2004, 2005). Hierfür ist es notwendig, Inhalte und Strukturen ungeachtet der Art und Weise ihrer graphisch-verbalen Repräsentationsweise ausschließlich nach ihrem Inhalt/Sinn bzw. nach ihrer Bedeutung zu beurteilen. Im Rahmen dieser Herangehensweise sind die nachfolgend aufgeführten Aspekte von Sensitivität bedeutsam:

- Nuancen in der verbalen Repräsentation, z.B. durch die Verwendung synonymer Begriffe bzw. Verbindungswörter, können im jeweiligen Kontext sinnverwandte Sachverhalte/Zusammenhänge ausdrücken wie *Braunkohle – erzeugt –> Energie* und *Braunkohle – ermöglicht –> Energieerzeugung*. Angelehnt an die Kategorisierung von Verben zu Verbindungswörtern gleichen semantischen Gehalts bei Herl et al. (1999) werden im Rahmen der Bewertung der Relationen unterschiedliche Verben wie *erschaffen* und *entstehen lassen* daher solange als sinnverwandte Verbindungswörter gewertet, wie sie den betreffenden Sinnzusammenhang im Referenznetz sinngemäß wiedergeben; der gleiche Ansatz wird für sinnverwandte Begrifflichkeiten wie *Energie* und *Strom* oder *Natur* und *Umwelt* bei den Konzepten verfolgt.

- Wird von Proband/innen bei einem Verbindungspfeil in entgegengesetzter Richtung ein anderes Verbindungswort wie bei *Energie – wird erzeugt durch –> Braunkohle* statt *Braunkohle – erzeugt –> Energie* verwendet, kann dennoch der verwandte Sinnzusammenhang repräsentiert sein.

- Bestimmte Sachverhalte lassen sich prinzipiell als Konzept wie auch als Sinneinheit repräsentieren, z.B. *Umweltverschmutzung* anstelle von *Umwelt – erfährt –> Verschmutzung* oder *Grundwasserabsenkung* anstatt *Grundwasser – erfährt –> Absenkung*. Weicht die gewählte Repräsentationsweise von der im Referenznetz ab, kann dennoch ein sinnverwandter Sachverhalt ausgedrückt sein. Bei der Bewertung wird in diesen Fällen eine an der Repräsentationsweise in der jeweiligen CM ausgerichtete Punktevergabe durchgeführt.

- Bei offen konstruierten/modifizierten CMs kann das Phänomen der Inklusion auftreten, indem eine Proposition den Sinnzusammenhang von mehreren Propositionen gebündelt wiedergibt, z.B. *Braunkohle – erzeugt –> Energie* im Verhältnis zu *Braunkohle – erfährt –> Verbrennung* und *Verbrennung – erzeugt –> Energie*. Sofern alle betreffenden Propositionen zu werten sind, beschreiben sie einen verwandten Sachverhalt und sind demzufolge als eine einzige zusammengehörende Sinneinheit zu betrachten und zu bewerten.

Unter Berücksichtigung der o.g. Aspekte konzentriert sich die CM-Auswertung auf einen Abgleich nach sinnverwandten Inhalten/Strukturen, die dann als sinngemäß korrespondierend bewertet werden (McClure & Bell 1990; McClure et al. 1999; Yin et al. 2004, 2005; Gouli et al. 2005). Auf der strukturellen Ebene betrifft dies den Abgleich nach verwandten Sinneinheiten, die sowohl nur aus einer einzigen als auch aus mehreren, sinngemäß zusammenhängenden Propositionen bestehen; dies verletzt nicht das Verständnis von Propositionen als kleinsten Sinneinheiten, sondern wird den allgemeinen Herausforderungen bei der graphisch-verbalen Repräsentation sowie individuell bevorzugten/umsetzbaren Repräsentationsweisen gerecht (vgl. Kapitel 2.3.1). Im weiteren Verlauf wird der Terminus Sinneinheit anstelle von Proposition verwendet, um Inklusionen zu berücksichtigen.

Die Punktevergabe bei der Bewertung erfolgt gemäß den Punkten, wie sie im ergänzten Referenznetz in Anhang 21 angegeben sind. Die Punktezahl kann sich dabei umso mehr erhöhen, je mehr Konzepte als Zwischenstationen zwischen Start- und Endkonzept eingebunden sind: Während die Sinneinheit *Abbau im Braunkohletagebau – genutzt für –> Stromerzeugung* z.B. je 2 Punkte bei den Konzepten und Sinneinheiten erhält, wird die Sinneinheit Abbau im *Braunkohletagebau – beliefert –> Kraftwerk – erzeugt –> Strom* mit 4 Punkten bei den Konzepten und 8 Punkten bei den Sinneinheiten bewertet. Die Sinneinheit *Abbau im Braunkohletagebau – beliefert –> Kraftwerk* erhält 2 Punkte bei den Konzepten und 4 Punkte bei den Sinneinheiten, wohingegen die Sinneinheit *Abbau im Braunkohletagebau – durch –> Transport per Förderband – zu –> Kraftwerk* ebenfalls 4 Punkte bei den Sinneinheiten sowie 3 Punkte bei den Konzepten zugeschrieben bekommt. Es gilt grundsätzlich folgende Regel: Je stärker die Ausdifferenzierung ist, umso mehr Punkte werden vergeben, wobei das Verhältnis von korrespondierenden zu nicht korrespondierenden Inhalten/Strukturen beachtet wird.

In ihrer CM-basierten Untersuchung systemischen Denkens weisen Sommer & Lücken (2010), auf älteren Studien aufbauend, auf Schwierigkeiten bei der Bewertung der sachlichen Relevanz von Propositionen hin. Bezüglich ungültiger, d.h. sachlich richtiger, im jeweiligen Kontext jedoch nicht relevanter Konzepte bzw. Propositionen argumentiert Kinchin (2000) gegen Punktabzüge und für ihre Berücksichtigung, wenn es darum geht, den gesamten Denkprozess nachzuvollziehen[91] (vgl. Gouli et al. 2005; Conlon 2006; Kazakoff 2009). Begründet wird dies damit, dass ungültige Konzepte bzw. Propositionen u.U. für das Sinnverständnis benachbarter, gültiger Konzepte bzw. Propositionen hilfreich oder ggf. notwendig sein können. Im vorliegenden Auswertungsschema werden ungültige Konzepte und Sinneinheiten, die Bestandteil größerer struktureller Denkmuster und -figuren[92] (Weber & Schumann 2000: 173) sind, aus diesem Grund ebenfalls berücksichtigt. Dies gilt gleichfalls in Bezug auf nicht aus sich selbst heraus verständliche Konzepte und Sinneinheiten, die u.U. anhand der mit ihnen verbundenen bewertet werden können (Ruiz-Primo & Shavelson 1996). Des Weiteren erfolgt angesichts der von Kinchin (2000) angeführten Konsequenzen bei der Bewertung kein Punktabzug für falsche oder irrelevante Konzepte und Sinneinheiten.

Bei der CM-Auswertung ist zu beachten, dass Konzepte sowohl reale physische Objekte als auch Ereignisse, Situationen oder Eigenschaften repräsentieren können (Cronin et al. 1982), während Sinneinheiten gemäß Kapitel 2.3.2 relationale Verhältnisse zwischen Konzepten mit unterschiedlichstem Charakter beschreiben können. Insbesondere im Hinblick auf die Veranschaulichung von Systemprozessen sind Relationsarten zu erwarten, die einen kausalen bzw. zeitlich veränderten Charakter tragen, wobei ihre Repräsentation ebenso grundsätzlich als Konzept erfolgen kann (vgl. Kapitel 2.3.2).

Die CM-Auswertung wird zunächst mit einem per Zufallsziehung ausgewählten Viertel der CM-Paare aus jeder Testgruppe begonnen, die sowohl durch den Autor dieser Arbeit als auch durch einen zweiten Rater unabhängig voneinander ausgewertet werden. In Anlehnung an Stoddart et al. (2000), Ruiz-Primo et al. (2001a) und Brandstädter et al. (2012) wird für die von beiden Ratern ausgewertete Teilmenge das Interrater Agreement und die Interrater Reliabilität bestimmt[93], wobei zu beachten ist, dass bei offen konstruierten CMs letztere gemäß Shavelson & Ruiz-Primo (2005) grundsätzlich etwas

[91] Im Kontext der Bewertung von falschen/ungültigen Propositionen verweist der Autor auf die grundsätzliche Frage nach dem Umgang mit diesen bei der Punktevergabe: „*The scorer also has to decide whether or not to deduct marks for factually incorrect propositions* […]. *This could reduce a student's score to zero if enough incorrect propositions were included, even though some excellent ideas may also be represented*." (Kinchin 2000: 3-20).

[92] Hierzu gehören beispielsweise Argumentationslinien, Haupt- und Nebeneffekte oder die Darstellung von Clustern (Weber & Schumann 2000: 173).

[93] Interrater Agreement bzw. Interrater Reliabilität sind bei den genannten Autor/innen für eine aussagekräftige Teilmenge von 15% (Stoddart et al. 2000; Brandstädter et al. 2012) bzw. 33% (Ruiz-Primo et al. 2001a) bestimmt worden.

geringer ausfallen kann als bei geschlossenen Varianten. Erreichen beide ein hinreichendes Mindestmaß, kann die Gewährleistung der Validität, Reliabilität und Objektivität der alleinigen Auswertung der restlichen 75% der CMs durch den Autor dieser Arbeit als gegeben angesehen werden.

Nachdem beide Rater erstmalig bewertet haben, wird das Referenznetz um die am häufigsten als systembedeutsam beurteilten, nicht korrespondierenden Konzepte und Sinneinheiten aus den ausgewerteten CMs ergänzt (Anhang 21). Es folgt eine weitere Bewertungsrunde auf der Basis des erweiterten Referenznetzes. Abschließend werden alle CMs einer Konsistenzprüfung unterzogen, um die Gleichmäßigkeit der Bewertung gemäß vorstrukturiertem Auswertungsschema zu gewährleisten.

Insgesamt wird mit dem skizzierten Ansatz eine Vorgehensweise verfolgt, die zu einer möglichst validen, reliablen und objektiven Bewertung des individuell repräsentierten Systemwissens führen soll:

- *Validität*: Durch den Vergleich mit einem unabhängigen Referenznetz wird eine hohe Inhaltsvalidität gewährleistet (vgl. Kapitel 2.3.2.2). Darüber hinaus werden Konzepte/Sinneinheiten von Proband/innen, die nicht im Referenznetz enthalten sind, auf ihre grundsätzliche Systemrelevanz hin bewertet. Hierdurch wird zusätzliche Inhaltsvalidität erreicht, um das repräsentierte Systemwissen als solches möglichst präzise und vollständig zu erfassen.
- *Reliabilität*: Die Auswertung durch thematisch versierte Rater, die einem strukturierten Auswertungsschema folgen, bei dem auf der Basis kleinster Informationseinheiten bewertet wird, garantiert eine möglichst hohe interne Konsistenz. Zudem wird durch die vorstrukturierte und voneinander unabhängige Auswertung eines Viertels der CM-Paare durch zwei Rater ein hohes Interrater Agreement bzw. eine hohe Interrater Reliabilität zu erreichen beabsichtigt (vgl. Kapitel 2.3.2.2), die die Auswertung der restlichen CMs durch den Autor dieser Arbeit rechtfertigt. Insgesamt wird durch diese Maßnahme eine möglichst zuverlässige Auswertung der CMs sichergestellt.
- *Objektivität*: Eine hohe Auswertungsobjektivität kann bei offen konstruierten CMs per se nur begrenzt sichergestellt werden. Dies wird dennoch zu einem hinreichenden Maße erreicht durch den Interrater-Ansatz, den Abgleich mit dem unabhängigen Referenznetz und die Verwendung des semistrukturierten Auswertungsschemas, das die Bewertung der Richtigkeit bzw. Gültigkeit des repräsentierten Systemwissens als systembedeutsam durch die Fokussierung auf möglichst kleine und damit leichter zu bewertende Wissensstrukturen gewährleistet.

Vor dem Hintergrund des verwendeten Auswertungsschemas und seiner Grundlagen werden nachfolgend die Bewertungsregeln und die in Abbildung 23 zusammengefassten Auswertungsgrößen[94] vorgestellt, die für die Beantwortung der Forschungsfragen und die Überprüfung der aufgestellten Hypothesen von Bedeutung sind. Die Auswertungsgrößen stellen eine Verbindung her zwischen den Informationsebenen einer CM in Form von Konzepten (Kapitel 4.5.1), Sinneinheiten (Kapitel 4.5.2) und der Makrostruktur (Kapitel 4.5.3) und den einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE. Diese Verbindung wird geschaffen durch die inhaltliche Charakterisierung der repräsentierten Konzepte und Sinneinheiten, indem für alle Konzepte bestimmt wird, ob es sich um Systemelemente oder -prozesse handelt, und indem alle Sinneinheiten als Beziehungen zwischen Systemelementen oder als Systemprozesse identifiziert werden.

[94] Neben den in Abbildung 23 dargestellten Auswertungsgrößen können aus einer CM heraus prinzipiell weitere gebildet werden, die eine Analyse des repräsentierten Systemwissens bis in kleinste Feinheiten hinein möglich machen. Durch den hohen Detailgrad nimmt jedoch die Möglichkeit für allgemeinere Aussagen auf der Gruppenebene ab. Aus diesem Grund wird der Rückschluss auf die einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens nicht auf der Grundlage aller Auswertungsgrößen vollzogen, sondern anhand der Auswahl möglichst aussagekräftiger Indikatoren in Abbildung 23.

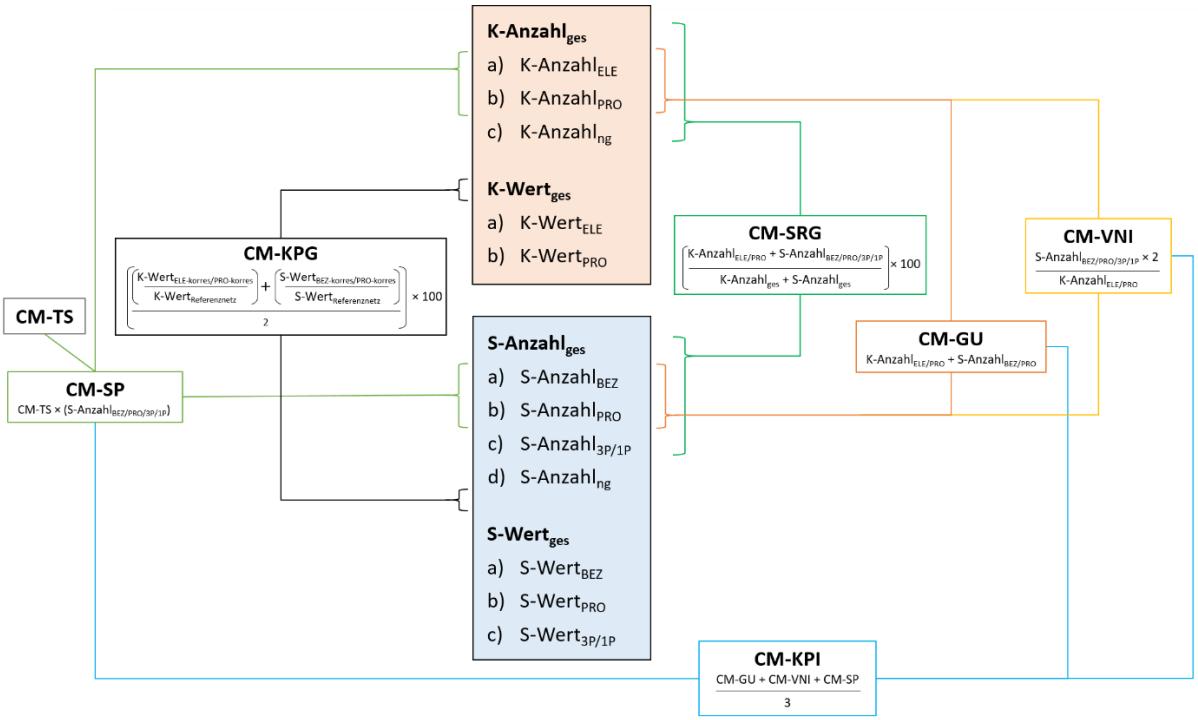


Abbildung 23: Schematische Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Auswertungsgrößen (eigene Darstellung)

Die inhaltliche Charakterisierung der Konzepte und Sinneinheiten des Referenznetzes (Anhang 24) sowie der aus den CMs der Proband/innen dorthin übernommenen Konzepte und Sinneinheiten wurde von beiden Ratern vor der CM-Auswertung gemeinsam durchgeführt. Die Ausprägung der Auswertungsgrößen, die nach den jeweiligen Anteilen an Elementen, Beziehungen und Prozessen ausdifferenziert sind, ermöglicht indikatorbasierte Aussagen (Raithel 2008) über die Ausprägung der einzelnen Fähigkeiten zum jeweiligen Erhebungszeitpunkt. Die inhaltliche Zuordnung erfolgt in Kapitel 4.5.4.

4.5.1 Auswertung der Inhalte (Konzepte) und gebildete Auswertungsgrößen

Die Konzepte in den CMs werden in einer modifizierten Variante des Punktevergabeschemas von Rye & Rubba (2002) hinsichtlich ihrer sinngemäßen Korrespondenz mit dem Referenznetz (Kürzel »korres«) bzw. ihrer sonstigen Systembedeutung (Kürzel »sys«) wie folgt bewertet:

- Sinngemäß korrespondierende Konzepte erhalten 2 Punkte.
- Nicht sinngemäß korrespondierende Konzepte erhalten dann 1 Punkt, wenn sie ebenfalls Sachverhalte zum Ausdruck bringen, die für das System bedeutsam sind.
- Sachlogisch falsche bzw. sachlogisch richtige, jedoch nicht für das System bedeutsame Konzepte erhalten 0 Punkte. Zur Vermeidung von Verzerrungen bei den Auswertungsergebnissen erhalten die Startbegriffe *Braunkohletagebau* bzw. *Abbau im Braunkohletagebau* ebenfalls keinen Punkt. Gleiches gilt auch für die Begriffe *Braunkohlebagger*, der in der Einheit und den Materialien genannt wird, sowie *Staub* und *Wind*, die in Aufgabe 2d des Arbeitsblatts vorgegeben sind.

Eine gegenüber Referenznetz abweichende Repräsentationsweise kann dazu führen, dass zusätzliche Punkte vergeben werden, z.B. dann, wenn in einem Konzept zwei Konzepte aus dem Referenznetz gemeinsam repräsentiert sind. Ebenfalls Punkte als Konzept erhalten Verbindungswörter bei Sinneinheiten, die den Sinngehalt eines Konzepts (korrespondierend oder systembedeutsam) besitzen, z.B. *Rekultivierung* in *Tagebau – Rekultivierung –> neue landwirtschaftliche Anbauflächen*.

Auf der Grundlage der skizzierten Punktevergabe werden folgende Auswertungsgrößen gebildet:

a.) *Gesamtanzahl der Konzepte* (*K-Anzahl$_{ges}$*): Beschreibt auf der inhaltlich-strukturellen Ebene die Summe aller Konzepte (Cronin et al. 1982; Jonassen et al. 1997; Herl et al. 1999; Rye & Rubba 2002; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010): K-Anzahl$_{ges}$ = K-Anzahl$_{ELE}$ + K-Anzahl$_{PRO}$ + K-Anzahl$_{ng}$.

1.) *Anzahl der Konzepte mit dem Charakter eines Systemelements* (*K-Anzahl$_{ELE}$*): Gibt die Anzahl aller Konzepte wieder, die Systemelemente repräsentieren und mit dem Referenznetz korrespondieren (K-Anzahl$_{ELE\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (K-Anzahl$_{ELE\text{-}sys}$) besitzen: K-Anzahl$_{ELE}$ = K-Anzahl$_{ELE\text{-}korres}$ + K-Anzahl$_{ELE\text{-}sys}$.

2.) *Anzahl der Konzepte mit dem Charakter eines Systemprozesses* (*K-Anzahl$_{PRO}$*): Gibt die Anzahl aller Konzepte wieder, die Systemprozesse sind und mit dem Referenznetz korrespondieren (K-Anzahl$_{PRO\text{-}korres}$) oder eine sonstige Systembedeutung (K-Anzahl$_{PRO\text{-}sys}$) tragen: K-Anzahl$_{PRO}$ = K-Anzahl$_{PRO\text{-}korres}$ + K-Anzahl$_{PRO\text{-}sys}$.

3.) *Anzahl der nicht gewerteten Konzepte* (*K-Anzahl$_{ng}$*): Gibt die Anzahl aller sachlogisch falschen bzw. nicht zum System gehörenden Konzepte wieder.

b.) *Gesamtwert der Konzepte* (*K-Wert$_{ges}$*): Beschreibt auf der Wertigkeitsebene die Summe der vergebenen Punkte für alle gewerteten Konzepte: K-Wert$_{ges}$ = K-Wert$_{ELE}$ + K-Wert$_{PRO}$. Der erreichbare K-Wert$_{ges}$ stellt eine nach oben hin offene Auswertungsgröße dar, die theoretisch den K-Wert des Referenznetzes überschreiten kann.

1.) *Wert der Konzepte mit dem Charakter eines Systemelements* (*K-Wert$_{ELE}$*): Gibt die Punktsumme aller Konzepte wieder, die Systemelemente repräsentieren und mit dem Referenznetz korrespondieren (K-Wert$_{ELE\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (K-Wert$_{ELE\text{-}sys}$) besitzen: K-Wert$_{ELE}$ = K-Wert$_{ELE\text{-}korres}$ + K-Wert$_{ELE\text{-}sys}$.

2.) *Wert der Konzepte mit dem Charakter eines Systemprozesses* (*K-Wert$_{PRO}$*): Gibt die Punktsumme aller Konzepte wieder, die Systemprozesse darstellen und mit dem Referenznetz korrespondieren (K-Wert$_{PRO\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (K-Wert$_{PRO\text{-}sys}$) besitzen: K-Wert$_{PRO}$ = K-Wert$_{PRO\text{-}korres}$ + K-Wert$_{PRO\text{-}sys}$.

4.5.2 Auswertung der Mikrostruktur (Sinneinheiten) und gebildete Auswertungsgrößen

Auf mikrostruktureller Ebene kommt für die Bewertung der Sinneinheiten gemäß dem individual proposition accuracy score (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005) ein integratives zweistufiges Schema mit einer qualitativ begründeten Punktevergabe zum Einsatz, das die vier Auswertungsschemata von McClure & Bell (1990) bzw. McClure et al. (1999), Klein et al. (2002), Rye & Rubba (2002) und West et al. (2002) aus Kapitel 2.3.2.2 in sich vereint[95]. Die Bestimmung des inhaltlichen Charakters erfolgt im unmittelbaren Anschluss an die Bestimmung der sinngemäßen Korrespondenz bzw. der sonstigen Systembedeutung (Abbildung 24).

[95] In Studien sind abgestufte Punktesysteme verwendet worden, die entweder verschiedene Grade der inhaltlichen (i.d.R. wissenschaftlichen) Genauigkeit bewerten oder die Übereinstimmung zentraler bereichsspezifischer Relationen (Cronin et al. 1982; Herl et al. 1999; Hoz et al. 1990; McClure & Bell 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Rice et al. 1998; McClure et al. 1999; Osmundson et al. 1999; Stoddart et al. 2000; Klein et al. 2002; West et al. 2002; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005; Fürstenau 2011).

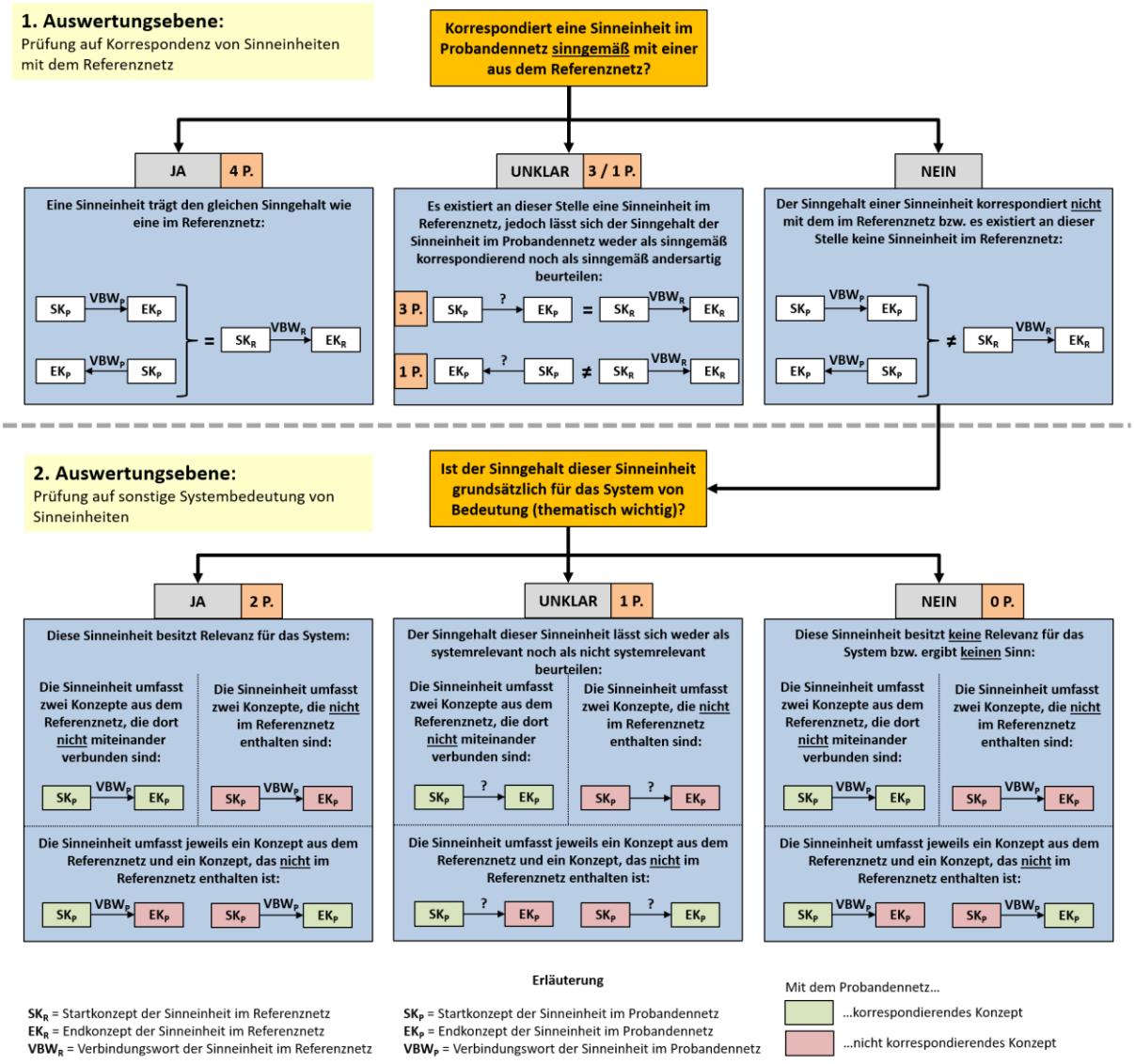


Abbildung 24: Bewertungsschema für Sinneinheiten (eigene Darstellung)

Aus der Sicht von Rye & Rubba (2002) besitzen Propositionen (Sinneinheiten) wegen ihres größeren Informationsgehalts eine größere Bedeutung für das Verständnis repräsentierter Wissensstrukturen als Konzepte (vgl. Ossimitz 2000, Hardy & Stadelhofer 2006). Sie werden in der Folge mit einer höheren Punktezahl bewertet als Konzepte. Die zuerst durchgeführte Prüfung auf sinngemäße Korrespondenz führt zur Vergabe von Punkten, deren Spektrum sich wie folgt aufgliedert:

- Stimmt eine Sinneinheit sinngemäß mit dem Referenznetz überein[96], wird die Höchstzahl von 4 Punkten vergeben. Begründet ist dies wie im Falle des supplementary credit bei Klein et al. (2002) damit, dass ein Systemaspekt sinngemäß identifiziert und dargestellt ist, der nach Ansicht der Expert/innen für das Systemverständnis zentral ist und zwingend identifiziert sein sollte. Damit die besondere Bedeutung der Korrespondenz in den Auswertungsergebnissen deutlicher hervortritt und CMs mit einer hohen Übereinstimmung ihres Punktwerts entsprechend besser abschneiden als CMs mit einer geringeren Übereinstimmung, erhalten korrespondierende Sinneinheiten doppelt so viele Punkte (Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; West et al. 2002).

[96] Dies gilt für sinngemäß identische oder synonyme Verbindungswörter wie auch für eine in entgegengesetzter Richtung konstruierte Sinneinheit mit gleichem Sinngehalt.

- Ist zwischen zwei im Referenznetz miteinander verknüpften Konzepten eine nicht näher spezifizierte Relation (ohne Verbindungswort) erstellt, lässt sich deren Sinngehalt nicht zweifelsfrei feststellen (McClure & Bell 1990; McClure et al. 1999). Sie kann sowohl sinngemäß übereinstimmen als auch abweichen, d.h. in einem anderen Sinnzusammenhang gedacht worden sein. Angesichts dieser Unklarheit auf semantischer Ebene kann nicht die Höchstpunktzahl vergeben werden; es können umgekehrt ebenso wenig keine Punkte vergeben werden, da sich eine Abweichung des Sinngehalts nicht zweifelsfrei nachweisen lässt. Es wird aus diesem Grund eine Konsenslösung angesetzt, bei der dann 3 Punkte vergeben werden[97] (3-Punkte-Sinneinheiten), wenn die Richtung des Verbindungspfeils übereinstimmt. Eine entgegengesetzte Pfeilrichtung erhält hingegen nur 1 Punkt – auch wenn dies nicht unkritisch zu sehen ist.

Alle Sinneinheiten, die nicht mit dem Referenznetz übereinstimmen, werden auf ihre sonstige Systembedeutung hin geprüft (Klein et al. 2002) und erhalten folgende Punkte:

- Sinneinheiten werden dann mit 2 Punkten bewertet, wenn sie nach Ansicht des Raters eine Bedeutung im Kontext des Systems besitzen[98]. Derartige Sinneinheiten können zwei Konzepte aus dem Referenznetz, zwei probandengenerierte Konzepte oder ein Referenznetz- und ein probandengeneriertes Konzept beinhalten. Begründet wird die Punktevergabe mit dem Argument von Klein et al. (2002), dass auch thematisch richtige Sinneinheiten, die nicht von Expert/ innen erstellt wurden, mit Punkten honoriert werden sollten. Die grundsätzliche Punktevergabe für nicht im Referenznetz enthaltene, jedoch für das behandelte System prinzipiell bedeutsame Sinneinheiten steht in Übereinstimmung mit der Vorgehensweise bei einer Vielzahl von Autor/ innen (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Kinchin 2000; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; West et al. 2002; Shavelson & Ruiz-Primo 2005).
- Sind zwei systembedeutsame Konzepte ohne ein Verbindungswort miteinander verknüpft, lässt sich der Sinngehalt nicht zweifelsfrei feststellen. Existiert nach Ansicht eines Raters an dieser Stelle eine im Kontext des Systems grundsätzlich bedeutsame Relation, wird zugunsten der Proband/innen unterstellt, diese sei versucht worden darzustellen. In der Folge wird 1 Punkt vergeben (1-Punkt-Sinneinheiten), um jene Sinneinheiten ohne Verbindungswort stärker zu gewichten, die mit dem Referenznetz übereinstimmen (3-Punkte-Sinneinheiten).
- Sinneinheiten, die für das behandelte System bedeutungslos oder die grundsätzlich sachlogisch falsch sind, erhalten 0 Punkte (Cronin et al. 1982; Novak & Gowin 1984; McClure & Bell 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Herl et al. 1999; McClure et al. 1999; Kinchin 2000; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; West et al. 2002; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005).

Abweichungen zur Repräsentationsweise im Referenznetz können dazu führen, dass zusätzliche Punkte vergeben werden, z.B. dann, wenn eine Sinneinheit mehrere Propositionen des Referenznetzes betrifft (Inklusion). Die Vorgehensweise in diesem Zusammenhang ist in Kapitel 4.5 angedeutet.

[97] Der Punktwert ergibt sich aus einer Mittelung der 4 Punkte für eine korrespondierende Sinneinheit und den 2 Punkten für eine sonstige systembedeutsame. Da es sich um eine Sinneinheit handelt, die von den Expert/innen als grundsätzlich bedeutsam angesehen wird, wird an dieser Stelle unterstellt, sie sei darzustellen versucht worden.

[98] Neben dem Gewichtungsaspekt wird die Vergabe von 2 Punkten ferner damit begründet, dass die von Kinchin (2000) beschriebene Negativwirkung zu vermeiden versucht wird, dass Proband/innen (leicht) einen höheren Punktewert erreichen können als das Referenznetz, ohne Sinneinheiten aus diesem selber konstruiert zu haben (vgl. Kapitel 2.3.2.2).

In Bezug auf das Beispiel *Tagebau – Rekultivierung –> neue landwirtschaftliche Anbauflächen* aus Kapitel 4.5.1, bei dem das Konzept *Rekultivierung* als Verbindungswort fungiert und separat als Konzept gewertet wird, erfährt die gesamte Sinneinheit bei der Punktevergabe virtuell eine Behandlung, als lägen zwei getrennte Sinneinheiten vor, d.h. *Tagebau –> Rekultivierung* und Rekultivierung –> *neue landwirtschaftliche Anbauflächen* erhalten jeweils Punkte gemäß dem o.g. Schema.

Ausgehend von der skizzierten Punktevergabe werden die folgenden Auswertungsgrößen gebildet:

a.) *Gesamtanzahl der Sinneinheiten* (*S-Anzahl$_{ges}$*): Gibt auf der inhaltlich-strukturellen Ebene die Anzahl aller Sinneinheiten (Umfang) an. Hierzu gehören alle Sinneinheiten mit dem Charakter einer Beziehung zwischen Systemelementen, alle mit Systemprozesscharakter, alle mit 1 Punkt bzw. 3 Punkten und ferner alle nicht gewerteten: S-Anzahl$_{ges}$ = S-Anzahl$_{BEZ}$ + S-Anzahl$_{PRO}$ + S-Anzahl$_{3P/1P}$ + S-Anzahl$_{ng}$ (Lomask et al. 1992; Jonassen et al. 1997; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Herl et al. 1999; McClure et al. 1999; Kinchin 2000; Stracke 2004; Yin et al. 2004, 2005; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005; Schaal 2006; Hardy & Stadelhofer 2006; Sommer & Lücken 2010). Ein großer Umfang gilt als Indiz für eine starke Vernetzung (Stracke 2004; Schaal 2006).

1.) *Anzahl der Sinneinheiten mit dem Charakter einer Beziehung zwischen Systemelementen* (*S-Anzahl$_{BEZ}$*): Gibt die Anzahl aller Sinneinheiten wieder, die Beziehungen zwischen Systemelementen repräsentieren und mit dem Referenznetz korrespondieren (S-Anzahl$_{BEZ\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (S-Anzahl$_{BEZ\text{-}sys}$) tragen: S-Anzahl$_{BEZ}$ = S-Anzahl$_{BEZ\text{-}korres}$ + S-Anzahl$_{BEZ\text{-}sys}$.

2.) *Anzahl der Sinneinheiten mit dem Charakter eines Systemprozesses* (*S-Anzahl$_{PRO}$*): Gibt die Anzahl aller Sinneinheiten wieder, die Systemprozesse repräsentieren und mit dem Referenznetz korrespondieren (S-Anzahl$_{PRO\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (S-Anzahl$_{PRO\text{-}sys}$) aufweisen: S-Anzahl$_{PRO}$ = S-Anzahl$_{PRO\text{-}korres}$ + S-Anzahl$_{PRO\text{-}sys}$.

3.) *Anzahl der systemrelevanten, jedoch semantisch uneindeutig repräsentierten Sinneinheiten* (*S-Anzahl$_{3P/1P}$*): Gibt die Anzahl aller Sinneinheiten mit Systembedeutung wieder, denen wegen einer semantisch nicht eindeutigen Repräsentationsweise 1 Punkt bzw. 3 Punkte vergeben werden.

4.) *Anzahl der nicht gewerteten Sinneinheiten* (*S-Anzahl$_{ng}$*): Gibt die Anzahl aller sachlogisch falschen bzw. nicht zum System gehörenden Sinneinheiten wieder.

b.) *Gesamtwert der Sinneinheiten* (*S-Wert$_{ges}$*): In Anlehnung an den total relational score (West et al. 2002) und den total proposition accuracy score bzw. total proposition validity score (Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005) wird die Punktsumme aller gewerteten Sinneinheiten wie folgt bestimmt: S-Wert$_{ges}$ = S-Wert$_{korres}$ + S-Wert$_{sys}$ + S-Wert$_{3P/1P}$. Der S-Wert$_{ges}$ stellt eine nach oben hin offene Auswertungsgröße dar, die theoretisch den S-Wert des Referenznetzes übertreffen kann.

1.) *Wert der Sinneinheiten mit dem Charakter einer Beziehung zwischen Systemelementen* (*S-Wert$_{BEZ}$*): Gibt den Punktwert aller Sinneinheiten wieder, die Beziehungen zwischen Systemelementen zum Ausdruck bringen und mit dem Referenznetz korrespondieren (S-Wert$_{BEZ\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (S-Wert$_{BEZ\text{-}sys}$) besitzen: S-Wert$_{BEZ}$ = S-Wert$_{BEZ\text{-}korres}$ + S-Wert$_{BEZ\text{-}sys}$.

2.) *Wert der Sinneinheiten mit dem Charakter eines Systemprozesses* (*S-Wert$_{PRO}$*): Gibt den Punktwert aller Sinneinheiten wieder, die Systemprozesse wiedergeben, die mit dem Referenznetz korrespondieren (S-Wert$_{PRO\text{-}korres}$) oder sonstige Systembedeutung (S-Wert$_{PRO\text{-}sys}$) besitzen: S-Wert$_{PRO}$ = S-Wert$_{PRO\text{-}korres}$ + S-Wert$_{PRO\text{-}sys}$.

3.) *Wert der systemrelevanten, jedoch semantisch nicht eindeutig repräsentierten Sinneinheiten* (*S-Wert$_{3P/1P}$*): Gibt den Punktwert aller Sinneinheiten mit Systemrelevanz an, die wegen der semantisch nicht eindeutigen Repräsentationsweise 1 Punkt bzw. 3 Punkte erhalten.

4.5.3 Auswertung der Makrostruktur und gebildete Auswertungsgrößen

Jede CM wird einer Bewertung der Gesamtstruktur (makrostrukturelle Komponente) des repräsentierten Systemwissens unterzogen (Cronin et al. 1982; Novak & Gowin 1984; Hoz et al. 1990; McClure & Bell 1990; Herl et al. 1999; McClure et al. 1999; Kinchin 2000; West et al. 2002; Yin et al. 2004, 2005; Sommer 2005), bei der die folgenden Auswertungsgrößen gebildet werden:

a.) *Gesamtumfang der CM* (*CM-GU*): Beschreibt nach Sommer (2005) die Summe aller gewerteten Konzepte und Sinneinheiten: CM-GU = K-Anzahl$_{ELE/PRO}$ + S-Anzahl$_{BEZ/PRO/3P/1P}$. Es wird ausgedrückt, wie (mengenmäßig) umfangreich das relevante Wissen zum System ist.

b.) *Anzahl unabhängiger Teilstrukturen in der CM* (*CM-TS*): Bringt die Zerklüftetheit (ruggedness), d.h. die Unterteilung in nicht miteinander verknüpfte Teilstrukturen zum Ausdruck (Dacin & Mitchell 1986; Stracke 2004; Schaal 2006). Eine hohe Zerklüftetheit gilt als Indiz für eine wenig integrierte Wissensstruktur mit isolierten Wissensfragmenten, die auf ein fragmentiertes und in sich nur wenig zusammenhängendes Systemwissen deutet[99].

c.) *Strukturpunkte der CM* (*CM-SP*): Besonders bei komplexeren Repräsentationen bietet eine Analyse hinsichtlich bestimmter Repräsentationsmuster mit spezifischem Komplexitätsgrad (Kinchin 2000; Yin et al. 2004, 2005) die Möglichkeit, qualitative Auskünfte über das Systemwissen zu erhalten (Ossimitz 2000; Sommer 2005; Bollmann-Zuberbühler 2008; Sommer & Lücken 2010). Beruhend auf einer Zuordnung zu verschiedenen Kategorien ansteigender Komplexität (Cronin et al. 1982; Kinchin 2000; Ossimitz 2000; Yin et al. 2004, 2005; Sommer 2005; Bollmann-Zuberbühler 2008; Kazakoff 2009; Sommer & Lücken 2010) werden für Teilstrukturen (CM-TS) Punkte vergeben (Tabelle 24). Voraussetzung ist eine Mindestanzahl an gewerteten Sinneinheiten inklusive 1-Punkt- und 3-Punkte-Sinneinheiten bzw. an gewerteten isolierten Konzepten. Die zu vergebenden Punkte errechnen sich aus der Multiplikation der Anzahl der gewerteten Sinneinheiten eines Musters mit einem musterspezifischen Multiplikationsfaktor (Sommer 2005), der zwischen 0,5 und 8,0 variiert[100]. Je mehr gewertete Sinneinheiten in ein Muster eingebunden sind, umso größer ist die resultierende Punktezahl. Die Punktsumme über alle Muster hinweg ergibt die CM-SP (West et al. 2002), über die sich unterschiedlich komplexe Repräsentationen nummerisch abbilden und voneinander differenzieren lassen.

---

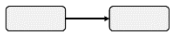
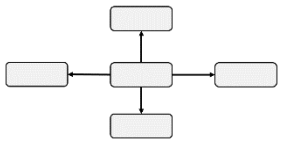
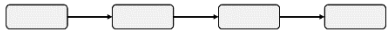
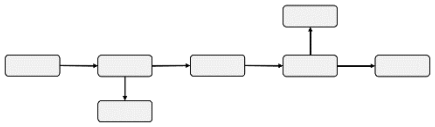
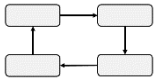
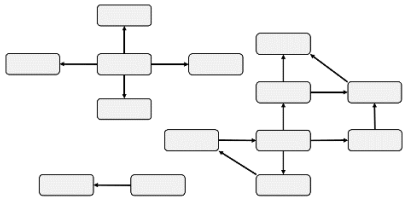
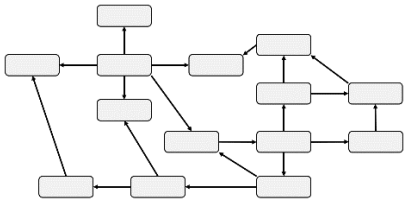
[99] Wie in Kapitel 2.3.1 dargelegt, zeigen Lernende mit ausgeprägtem Wissen bzw. Expert/innen nicht nur ein umfangreicheres und detailliertes, sondern auch ein in sich wesentlich stärker verknüpftes und dadurch in sich komplexeres Wissen als Lernende mit geringem/keinem Wissen bzw. als Noviz/innen.

[100] Durch Multiplikation lassen sich Verzerrungen vermeiden. Die Reihung der Multiplikationsfaktoren ist angelehnt an Sommer (2005), wobei alle Punktwerte um 1 heraufgesetzt sind, damit Punkte für isoliert vorkommende, gewertete Konzepte vergeben zu können. Der Faktor 0,5 für isolierte Konzepte soll den größeren Eigenwert von Sinneinheiten hervorheben. Die höchste Kategorie (ein einziges Netzwerk) ist zusätzlich eingeführt worden, um ihren Status zu betonen: Ziel ist eine bessere Trennbarkeit zwischen CMs, in denen neben einer netzwerkartigen Teilstruktur weitere Teilstrukturen existieren, und CMs, denen eine einzige Netzwerkstruktur zugrunde liegt.

d.) *Vernetzungsindex der CM* (*CM-VNI*): Gibt Auskunft über die innere Vernetztheit und betrifft alle gewerteten Konzepte und Sinneinheiten. Angelehnt an Ossimitz (2000) bzw. Sommer (2005) wird das Verhältnis der doppelten Anzahl gewerteter Sinneinheiten zur einfachen Anzahl gewerteter Konzepte berechnet[101]: CM-VNI = (S-Anzahl$_{BEZ/PRO/3P/1P}$ * 2) / K-Anzahl$_{BEZ/PRO}$.

e.) *Komplexitätsindex der CM* (*CM-KPI*): Über den Komplexitätsindex von Sommer (2005) wird die strukturelle Gesamtkomplexität bestimmt. Bei der Autorin errechnet sich dieser aus der Summe der Punkte für das Strukturmuster, die Vernetztheit und den Umfang, die durch den Faktor 3 geteilt wird. Dieser Ansatz wird übernommen, wobei sich der CM-KPI explizit auf alle gewerteten Konzepte und Sinneinheiten bezieht. Über ihn wird der Gesamtcharakter des Systemwissens in einem einzigen nummerischen Wert erfasst: CM-KPI = (CM-GU + CM-VNI + CM-SP) / 3.

Tabelle 24: Kategorien von Repräsentationsmustern unterschiedlicher Komplexität samt Multiplikationsfaktor für die Anzahl der beteiligten gewerteten Konzepte bzw. Sinneinheiten

Multiplikationsfaktor	Art und Charakteristikum des Repräsentationsmusters	
0,5	gewertetes isoliertes Konzept	
2,0	gewertete isolierte Sinneinheit	
3,0	Stern (mindestens drei gewertete Sinneinheiten)	
4,0	Kette (mindestens zwei gewertete Sinneinheiten)	
5,0	Verzweigte Kette (Kette mit mindestens einem gewerteten Seitenarm)	
6,0	Geschlossener Ring (mind. drei gewertete Sinneinheiten)	
7,0	Netzwerk mit Teilstrukturen (mindestens fünf gewertete Sinneinheiten, wobei weitere Teilstrukturen existieren)	
8,0	Alleiniges Netzwerk (mindestens fünf gewertete Sinneinheiten)	

Die Repräsentationsmuster sind angelehnt an die Darstellungen in Yin et al. (2004, 2005) und Sommer (2005).

[101] Die auf Ossimitz (2000) zurückgehende Berechnung verwendet die doppelte Anzahl an gewerteten Propositionen, um jeden Verbindungspfeil beim Ausgangs- wie Endkonzept in die Berechnung einfließen zu lassen.

4.5.4 Dezidierter Rückschluss auf die einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens und das Systemmodell als Ganzes

Die in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Auswertungsgrößen sind nicht alle für die Beantwortung der Forschungsfragen und Überprüfung der aufgestellten Hypothesen relevant; manche dienen lediglich der Berechnung der relevanten. In Kapitel 4.5.4.1 bis 4.5.4.5 werden jene Auswertungsgrößen mit Relevanz den einzelnen Fähigkeiten inhaltlich zugeordnet und es wird erläutert, wie auf ihrer Grundlage auf die Entwicklung der Fähigkeiten zurückgeschlossen wird (Indikator-Funktion).

4.5.4.1 Rückschluss auf die Identifikation von Systemelementen

Auf die Fähigkeit, Elemente des Systems Braunkohleabbau wie z.B. Kraftwerke, Siedlungen oder Grundwasser zu identifizieren, wird ausschließlich anhand der repräsentierten Konzepte geschlossen (Ossimitz 2000; Ben-Zvi Assaraf & Orion 2005, 2010; Sommer 2005; Sommer & Lücken 2010). Dies betrifft die K-Anzahl$_{ELE}$ (inhaltlich-strukturelle Ebene) und den K-Wert$_{ELE}$ (Wertigkeitsebene). Der direkte Vergleich dieser Auswertungsgrößen, wie sie in der CM$_{vorw}$ und CM$_{mod}$ ausgeprägt sind, zeigt die Richtung an, in die sich diese Fähigkeit während der Intervention entwickelt hat (Tabelle 25). Hierbei ist zu beachten, dass beide Werte aufgrund der unterschiedlich zu vergebenden Punkte (1 bzw. 2 Punkte) nicht in einer linearen Beziehung zueinander stehen müssen. Dies gilt auch für die mögliche Vergabe von zusätzlichen Punkten (vgl. Kapitel 4.5.1).

Tabelle 25: Betrachtung der für die Systemelemente relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
K-Anzahl$_{ELE}$ K-Wert$_{ELE}$	K-Anzahl$_{mod-ELE}$ > K-Anzahl$_{vorw-ELE}$ K-Wert$_{mod-ELE}$ > K-Wert$_{vorw-ELE}$	Eine Zunahme deutet für sich auf einen gestiegenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	K-Anzahl$_{mod-ELE}$ = K-Anzahl$_{vorw-ELE}$ K-Wert$_{mod-ELE}$ = K-Wert$_{vorw-ELE}$	Eine Stagnation deutet für sich auf einen unveränderten Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	K-Anzahl$_{mod-ELE}$ < K-Anzahl$_{vorw-ELE}$ K-Wert$_{mod-ELE}$ < K-Wert$_{vorw-ELE}$	Eine Abnahme deutet für sich auf einen gesunkenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.

4.5.4.2 Rückschluss auf die Identifikation von Beziehungen zwischen den Systemelementen

Die Identifikation der Beziehungen, wie z.B. *Energieunternehmen – bietet –> Arbeitsplätze* oder *Natürliche Lebensräume – ermöglichen –> Naherholung*, wird über die beiden Auswertungsgrößen S-Anzahl$_{BEZ}$ (inhaltlich-strukturelle Ebene) und S-Wert$_{BEZ}$ (Wertigkeitsebene) in Tabelle 26 realisiert. Der direkte Vergleich ihrer Ausprägung in der CM$_{vorw}$ und CM$_{mod}$ zeigt die Richtung der Entwicklung dieser Fähigkeit in der Intervention an. Auch hier müssen die Werte wegen der unterschiedlich zu vergebenden Punkte (1 bis 4 Punkte) bzw. wegen der Zusatzpunkte keine lineare Beziehung aufweisen.

Tabelle 26: Betrachtung der für die Beziehungen zwischen den Systemelementen relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
S-Anzahl$_{BEZ}$ S-Wert$_{BEZ}$	S-Anzahl$_{mod-BEZ}$ > S-Anzahl$_{vorw-BEZ}$ S-Wert$_{mod-BEZ}$ > S-Wert$_{vorw-BEZ}$	Eine Zunahme deutet für sich auf einen gestiegenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	S-Anzahl$_{mod-BEZ}$ = S-Anzahl$_{vorw-BEZ}$ S-Wert$_{mod-BEZ}$ = S-Wert$_{vorw-BEZ}$	Eine Stagnation deutet für sich auf einen unveränderten Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	S-Anzahl$_{mod-BEZ}$ < S-Anzahl$_{vorw-BEZ}$ S-Wert$_{mod-BEZ}$ < S-Wert$_{vorw-BEZ}$	Eine Abnahme deutet für sich auf einen gesunkenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.

4.5.4.3 Rückschluss auf die Identifikation von Systemprozessen

Beziehungen mit verändernder Wirkung, d.h. Systemprozesse, können als Konzepte (*Umsiedlung*) oder in Form von Sinneinheiten (*Tagebau – verdrängt –> Siedlungen*) repräsentiert sein. Unter Berücksichtigung beider Repräsentationsarten kann auf das Ausmaß dieser Fähigkeit mittels der Auswertungsgrößen K-Anzahl$_{PRO}$ bzw. S-Anzahl$_{PRO}$ (inhaltlich-strukturelle Ebene) sowie K-Wert$_{PRO}$ bzw. S-Wert$_{PRO}$ (Wertigkeitsebene) geschlossen werden (Tabelle 27). Die Entwicklung von der CM$_{vorw}$ hin zur CM$_{mod}$ ermöglicht eine Beurteilung der Entwicklung dieser Fähigkeit während der Intervention, wobei hierfür bereits eine Veränderung bei einer der beiden Repräsentationsarten ausreichend ist, d.h. entweder bei den Konzepten (K-Anzahl$_{PRO}$ bzw. K-Wert$_{PRO}$) oder den Sinneinheiten (S-Anzahl$_{PRO}$ bzw. S-Wert$_{PRO}$). Es ist auch hier zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlichen Punkte und möglicher Zusatzpunkte kein linearer Zusammenhang vorliegen muss.

Tabelle 27: Betrachtung der für die Systemprozesse relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
K-Anzahl$_{PRO}$ K-Wert$_{PRO}$	K-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ > K-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ > K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Zunahme deutet für sich auf einen gestiegenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	K-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ = K-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ = K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Stagnation deutet für sich auf einen unveränderten Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	K-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ < K-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ < K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Abnahme deutet für sich auf einen gesunkenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
S-Anzahl$_{PRO}$ S-Wert$_{PRO}$	S-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ > S-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ > S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Zunahme deutet für sich auf einen gestiegenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	S-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ = S-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ = S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Stagnation deutet für sich auf einen unveränderten Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.
	S-Anzahl$_{mod\text{-}PRO}$ < S-Anzahl$_{vorw\text{-}PRO}$ S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ < S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	Eine Abnahme deutet für sich auf einen gesunkenen Ausprägungsgrad dieser Fähigkeit hin.

4.5.4.4 Rückschluss auf die Identifikation der inneren Systemstruktur

Systemisches Denken involviert nach Sommer (2005) in einem fortgeschrittenen Stadium ein hochgradig komplexes Systemwissen (vgl. Rempfler & Uphues 2011 Rempfler & Uphues 2011: 44). Auf die Fähigkeit, die innere Struktur des Systems zu identifizieren, wird über eine Analyse der Entwicklung der Auswertungsgrößen in Tabelle 28 zurückgeschlossen.

Tabelle 28: Betrachtung der für die Systemstruktur relevanten Auswertungsgrößen und Interpretation der möglichen Art ihrer Veränderung

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
CM-GU	CM-GU$_{mod}$ > CM-GU$_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf eine Zunahme des Systemwissens hin.
	CM-GU$_{mod}$ = CM-GU$_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf ein unverändertes Systemwissen hin.
	CM-GU$_{mod}$ < CM-GU$_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf eine Abnahme des Systemwissens hin.
CM-TS	CM-TS$_{mod}$ > CM-TS$_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf eine größere Zerklüftetheit des Systemwissens hin.
	CM-TS$_{mod}$ = CM-TS$_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf eine unveränderte Zerklüftetheit hin.
	CM-TS$_{mod}$ < CM-TS$_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf eine geringere Zerklüftetheit des Systemwissens hin.

CM-SP	$CM\text{-}SP_{mod} > CM\text{-}SP_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf eine der folgenden Entwicklungen hin: • Eine Zunahme bei den konstituierenden Sinneinheiten durch stärkere Verknüpfung der Strukturen und/oder Integration neuen Systemwissens. • Den Übergang zu einem Repräsentationsmuster höherer Komplexität, z.B. im Kontext der Integration neuen Systemwissens. • Beide Entwicklungen zusammen.
	$CM\text{-}SP_{mod} = CM\text{-}SP_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf ein unverändertes Systemwissen hin. Es ist jedoch eine spezifische Betrachtung notwendig, ob Veränderungen an Teilstrukturen aufgetreten sind, deren Effekte sich neutralisieren.
	$CM\text{-}SP_{mod} < CM\text{-}SP_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf eine der folgenden Entwicklungen hin: • Eine Abnahme bei den konstituierenden Sinneinheiten durch geringere Verknüpfung bestehender Strukturen bzw. ausbleibende Integration neuen Systemwissens. • Der Übergang zu einem Repräsentationsmuster geringerer Komplexität bzw. ausbleibende Integration neuen Systemwissens. • Beide Entwicklungen zusammen.
CM-VNI	$CM\text{-}VNI_{mod} > CM\text{-}VNI_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf ein stärker vernetztes Systemwissen hin.
	$CM\text{-}VNI_{mod} = CM\text{-}VNI_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf eine unveränderte Vernetztheit des Systemwissens hin.
	$CM\text{-}VNI_{mod} < CM\text{-}VNI_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf ein weniger vernetztes Systemwissen hin.
CM-KPI	$CM\text{-}KPI_{mod} > CM\text{-}KPI_{vorw}$	Eine Zunahme deutet auf einen gestiegenen Elaborationsgrad des Systemwissens hin aufgrund eines größeren Gesamtumfangs und/oder einer gestiegenen Vernetztheit und/oder eines Repräsentationsmusters höherer Komplexität.
	$CM\text{-}KPI_{mod} = CM\text{-}KPI_{vorw}$	Eine Stagnation deutet auf einen unveränderten Elaborationsgrad des Systemwissens hin.
	$CM\text{-}KPI_{mod} < CM\text{-}KPI_{vorw}$	Eine Abnahme deutet auf einen gesunkenen Elaborationsgrad des Systemwissens hin aufgrund eines geringeren Gesamtumfangs und/oder einer gesunkenen Vernetztheit und/oder eines Repräsentationsmusters geringerer Komplexität.

4.5.4.5 Rückschluss auf die Fähigkeit zur Identifikation der Systemgrenze

Für die Ermittlung der Fähigkeit zur Identifikation der (diffusen) Grenze des (offenen) Systems Braunkohleabbau (vgl. Kapitel 2.1.4.3) liegt mit dem Referenznetz ein inhaltlich valider Rahmen an Konzepten und Sinneinheiten vor, die Systemrelevanz besitzen und die sich in diesem Sinne innerhalb der Systemgrenze befinden. Gleiches gilt, wie in Kapitel 4.5 erläutert, auch für nicht korrespondierende Konzepte und Sinneinheiten, die von den Proband/innen mit Blick auf das System richtig repräsentiert werden und die sich ebenso innerhalb der Systemgrenze befinden.

Die Fähigkeit zur Eingrenzung auf die für das System relevanten Konzepte und Sinneinheiten wird über den *Systemrelevanzgrad der CM* (*CM-SRG*) bestimmt. Anhand dieser Auswertungsgröße wird erfasst, wie gut es individuell gelungen ist, eine CM auf die systembedeutsamen Sachverhalte zu beschränken (blaue und gelbe Farbe in Abbildung 25) oder nicht (rote Farbe in Abbildung 25), d.h. sie quantifiziert die Fähigkeit, die Systemgrenze (gestrichelte Linie in Abbildung 25) adäquat zu setzen. Der CM-SRG drückt das prozentuale Verhältnis aller gewerteten Konzepte und Sinneinheiten zu allen repräsentierten aus: $CM\text{-}SRG\ (\%) = [(K\text{-}Anzahl_{ELE/PRO} + S\text{-}Anzahl_{BEZ/PRO/3P/1P}) / (K\text{-}Anzahl_{ges} + S\text{-}Anzahl_{ges})] \times 100$. Der CM-SRG ist angelehnt an den salience score, der den Anteil thematisch relevanter Propositionen im Verhältnis zu allen repräsentierten Propositionen wiedergibt (Cronin et al. 1982; Hoz et al. 1990; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Jonassen et al. 1997; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a,

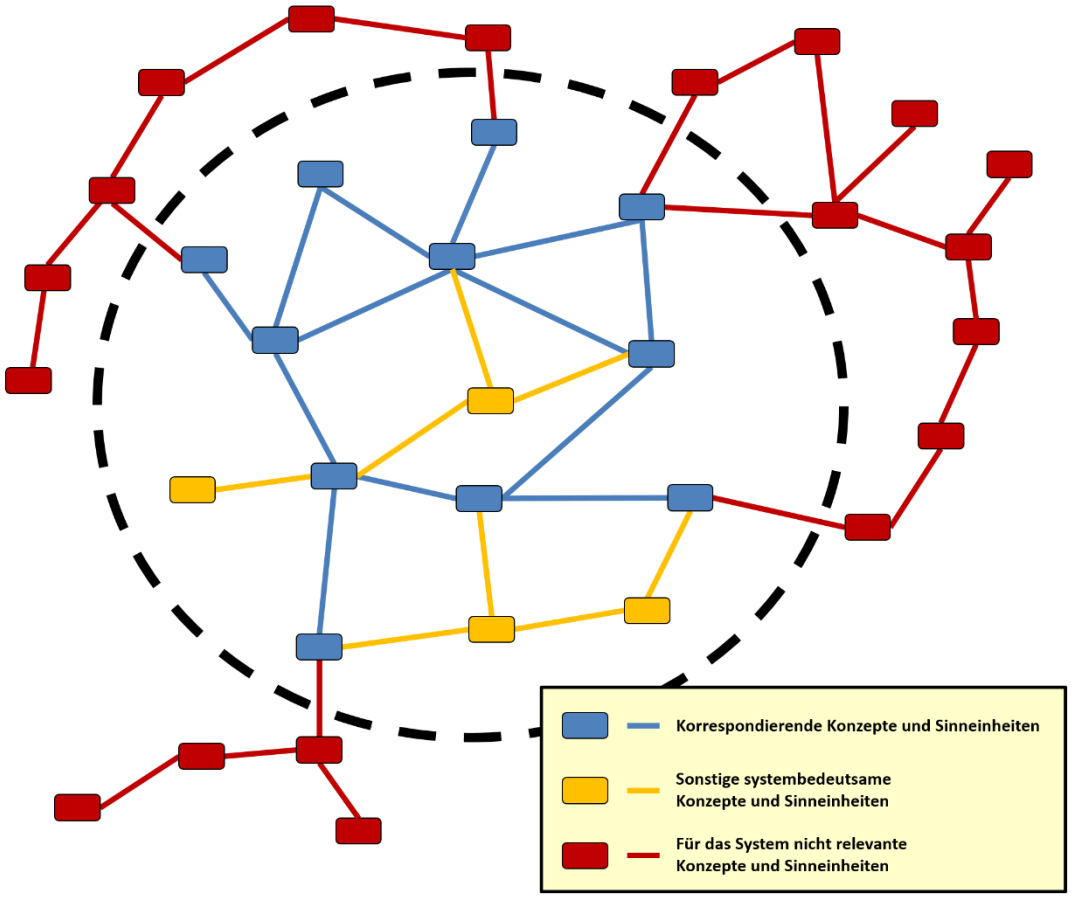


Abbildung 25: Verlauf der Systemgrenze einer CM (eigene Darstellung)

2001b; Stoddart et al. 2000; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005). Bei CMs, in denen ausschließlich Systemmerkmale repräsentiert sind, beträgt der CM-SRG 100,00%. Sind hingegen auch Konzepte bzw. Sinneinheiten repräsentiert, die nicht von Bedeutung oder generell falsch sind, sinkt der CM-SRG. Proband/innen, deren CMs einen hohen CM-SRG aufweisen, sind besonders gut dazu in der Lage, die zum System gehörenden Sachverhalte von den nicht relevanten zu trennen und die Systemgrenze dementsprechend adäquat zu setzen. Umgekehrt ist bei Proband/innen, deren CMs einen niedrigen CM-SRG aufweisen, diese Fokussierung und damit diese Fähigkeit an sich weniger ausgeprägt. Es kann zudem zwischen konservativen Repräsentationen und sehr freizügigen differenziert werden: Während beide z.B. einen gleichen Punktwert aufweisen können, unterscheiden sie sich beim CM-SRG, der bei den Konservativen aufgrund nur weniger nicht gewerteter Konzepte/Sinneinheiten hoch und bei sehr Freizügigen niedrig ausfällt. Auf die Entwicklung der Fähigkeit wird über eine Analyse der Entwicklung des CM-SRG von der CM_{vorw} hin zur CM_{mod} zurückgeschlossen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Interpretation der möglichen Art der Veränderung der Systemgrenze

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
CM-SRG	$CM\text{-}SRG_{mod} > CM\text{-}SRG_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf eine bessere Abgrenzung des Systemwissens gegenüber nicht relevantem Wissen hin.
	$CM\text{-}SRG_{mod} = CM\text{-}SRG_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf eine unveränderte Abgrenzung des Systemwissens gegenüber nicht relevantem Wissen hin.
	$CM\text{-}SRG_{mod} < CM\text{-}SRG_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf eine schlechtere Abgrenzung des Systemwissens gegenüber nicht relevantem Wissen hin.

4.5.4.6 Grad der Übereinstimmung mit dem Referenznetz

Das auf dem Abgleich mit einem unabhängigen Referenznetz basierende Auswertungsschema sieht eine differenzierte Punktevergabe zwischen sinngemäß korrespondierenden Konzepten (2 Punkte) und Sinneinheiten (3 bzw. 4 Punkte) auf der einen Seite und sonstigen systemrelevanten Konzepten (1 Punkte) und Sinneinheiten (1 bzw. 2 Punkte) auf der anderen Seite vor. Auskünfte über das Ausmaß, zu dem die CMs der Proband/innen mit dem Referenznetz sinngemäß korrespondieren, können für die Interpretation des repräsentierten Systemwissens von Bedeutung sein. Es wird deshalb eine weitere Auswertungsgröße in Form des *Korrespondenzgrades der CM* (*CM-KPG*) hinzugenommen.

Der CM-KPG stellt keinen Indikator für eine spezifische Fähigkeit systemischen Denkens dar, sondern beschreibt für die gesamte CM den prozentualen Anteil, zu dem die darin enthaltenen Konzepte und Sinneinheiten mit denen des Referenznetzes sinngemäß übereinstimmen: CM-KPG (%) = {[(K-Wert$_{korres}$ / K-Wert$_{Referenznetz}$) + (S-Wert$_{korres}$ / S-Wert$_{Referenznetz}$)] / 2} × 100. Das Berechnungsprinzip ist angelehnt an den similarity index bei Gouli et al. (2005) sowie an Conlon (2006). Je höher der CM-KPG ausfällt, umso mehr sind Systemaspekte repräsentiert, die von den Expert/innen als konstitutiv für das System angesehen werden. Der CM-KPG gibt in kombinatorischer Weise wieder, wie gut es individuell gelungen ist, sinngemäß die Systemaspekte aus dem Referenznetz als Konzepte/Sinneinheiten zu repräsentieren (Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b; Klein et al. 2002; Rye & Rubba 2002; West et al. 2002). Thematisch konstitutive Propositionen werden häufig als substantial bzw. mandatory bezeichnet (Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a) und als Indiz für die Validität von Wissensstrukturen verstanden (Hoz et al. 1990). Es wird oftmals ein convergence score bzw. congruence score berechnet (Cronin et al. 1982; Ruiz-Primo & Shavelson 1996; Ruiz-Primo et al. 1997a, 1997b, 2001a, 2001b; Yin et al. 2004, 2005; Shavelson & Ruiz-Primo 2005), der den prozentualen Anteil angibt, zu dem gültige Propositionen die Summe aller Propositionen eines Referenznetzes erreichen; bei Novak & Gowin (1984) bzw. Hoz et al. (1990) wird jeweils ermittelt, zu wieviel Prozent der Punktwert des Referenznetzes von dem einer CM erreicht wird. Die Korrespondenz auf der Ebene der Propositionen (Sinneinheiten) wird als besonders gut geeignet gesehen, da sie „*seems to better reflect systematic differences in students' connected understanding than other scores and it is the most effort and time efficient indicator*." (Ruiz-Primo 2004: 560). Für den CM-KPG bezieht sich dies auf beide Repräsentationsformen, d.h. auf Sinneinheiten und auch Konzepte. Die Entwicklung des CM-KPG liefert einen Einblick in das Ausmaß, zu dem sich die sinngemäße Übereinstimmung der CM der Proband/innen mit dem unabhängigen Referenznetz in der Intervention verändert hat (Tabelle 30).

Tabelle 30: Interpretation der möglichen Art der Veränderung des Korrespondenzgrades

	Mögliche Art der Veränderung	Interpretation der Veränderungsart
CM-KPG	CM-KPG$_{mod}$ > CM-KPG$_{vorw}$	Eine Zunahme deutet für sich auf eine gestiegene Übereinstimmung des Systemwissens mit dem Referenznetz hin.
	CM-KPG$_{mod}$ = CM-KPG$_{vorw}$	Eine Stagnation deutet für sich auf eine unveränderte Übereinstimmung des Systemwissens mit dem Referenznetz hin.
	CM-KPG$_{mod}$ < CM-KPG$_{vorw}$	Eine Abnahme deutet für sich auf eine gesunkene Übereinstimmung des Systemwissens mit dem Referenznetz hin.

4.6 Stichprobengewinnung

Die Haupterhebung, die zwischen Oktober 2013 und Juli 2014 erfolgte, wurde nach 17 teilnehmenden Klassen mit insgesamt 244 Kursstufenschüler/innen (Tabelle 31) beendet. Da die meisten Klassen aus dem Großraum Heidelberg stammen, ist vom Anspruch auf Repräsentativität abzusehen.

Tabelle 31: Teilnehmende Proband/innen der Haupterhebung

TEILNAHMEDATUM	SCHULE	JAHRGANGSSTUFE	TESTGRUPPE	PROBAND/INNENZAHL
17.10.2013	Gymnasium Neckargemünd	11	UG	16
24.10.2013	Hölderlin-Gymnasium Heidelberg	11	VG	10
13.12.2013	Wilhelmi-Gymnasium Sinsheim	11	UG	22
20.01.2014	Kurpfalz-Gymnasium Mannheim	11	UG	6
31.01.2014	Privatgymnasium St. Leon-Rot	12	VG	19
14.02.2014	Englisches Institut Heidelberg	11	VG	18
11.03.2014	Leonardo-da Vinci-Schule Neckargemünd	11	UG	9
13.03.2014	Privatgymnasium St. Leon-Rot	11	UG	20
20.03.2014	Hilda-Gymnasium Pforzheim	11	VG	12
03.04.2014	Hölderlin-Gymnasium Heidelberg	11	UG	14
30.04.2014	Internationale Gesamtschule Heidelberg	11	VG	15
08.07.2014	Kurpfalz-Gymnasium Mannheim	11	VG	15
15.07.2014	Fritz-Erler-Schule Pforzheim	12	UG	18
16.07.2014	Wilhelm-Röpke-Schule Ettlingen (Wirtschaftsgymnasium)	12	UG	14
21.07.2014	Hölderlin-Gymnasium Heidelberg	11	VG	12
28.07.2014	Max-Weber-Schule Sinsheim	12	VG	14
29.07.2014	Helmholtz-Gymnasium Heidelberg	11	VG	10
			Gesamt	**244**

Von den insgesamt 244 Proband/innen liegen 235 vollständige Datensätze bestehend aus CM_{vorw}, CM_{mod} und den Antworten zu allen Items aus den drei Fragebögen vor. Nach Pituch & Stevens (2016) lassen sich fehlende Daten verschiedenen Ursachenkategorien zuordnen, die bestimmte Handhabungen bei der statistischen Auswertung erforderlich machen. Der Grund für die Unvollständigkeit weniger Datensätze lässt sich in dieser Arbeit nicht in allen Fällen zweifelsfrei nachvollziehen und folglich keiner Kategorie eindeutig zuordnen. Häufig angewandte Imputierungsstrategien bieten keine absolute Sicherheit, dass die imputierten Werte genau jene widergeben, die nicht vorliegen (Pituch & Stevens 2016). Aus diesem Grund verbleibt die ausschließliche Berücksichtigung der vollständigen Datensätze (Fälle). Dies stellt aus der Sicht der o.g. Autoren dann eine akzeptable Vorgehensweise dar, wenn nur ein geringer Prozentsatz von ca. 5 – 10 % der Fälle ausgeschlossen wird. Mit neun von 244 Fällen (≙ 2,8%) trifft dies zu. Folglich werden nur die 235 Fälle mit vollständigem Datensatz in die statistische Auswertung einbezogen. Diese verteilen sich auf die UG mit 127 Fällen (≙ 54,0%) und auf die VG mit 108 Fällen (≙ 46,0%), sodass ein Gruppenverhältnis von 1,18 : 1,00 besteht.

5 Robuste statistische Auswertung

> „*In sum, the choice of an analytic method to use with data is impacted by the equations used to represent a theory, the psychometric properties of the measures, whether one seeks full information estimation or limited information estimation, and the population distributional assumptions that the statistical tools available to the researcher make relative to the actual population distributions. A growing number of scientists suggest adopting robust methods in favor of traditional methods because of the complexities of two step strategies that rely on preliminary tests of assumptions*."
> (Jaccard 2013: 99)

Wie vom Autor angesprochen, beruhen klassische parametrische Tests in uni- wie multivariater Form auf testspezifischen Annahmen, deren Einhaltung traditionell mithilfe verschiedener Eignungstests überprüft wird, die z.T. ebenso auf eigenen Testannahmen beruhen. Es existieren nur grobe Orientierungen, bis zu welchem Punkt parametrische Tests bzw. Eignungstests Robustheit gegenüber Verletzungen der testspezifischen Annahmen besitzen und ab wann ein Verletzungsgrad erreicht ist, der ihre Validität/Reliabilität in einem erheblichen Maße gefährdet. Bei uni-/multivariaten Varianzanalysen bzw. t-Tests wird bei nicht normalverteilten Stichprobenwerten traditionell das Argument der empirisch nicht völlig unbegründeten Robustheit gegenüber Verletzungen der Normalverteilungs- bzw. Homoskedastizitätsannahme unter Berufung auf das zentrale Grenzwerttheorem angeführt. Erst bei (wirklich) groben Verletzungen kommt es dem traditionellen Verständnis nach zu progressiven Entscheidungen (Hallahan & Rosenthal 2000: 140; Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Hellerstein 2008; Corder & Foreman 2009; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Buskirk et al. 2013: 107; Dormann 2013; Thompson 2013: 7; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016). Liegen größere Verletzungen einer oder beider Annahmen vor, wird diesen traditionell vielfach mit mathematischen Transformationen begegnet, die eine durch große Schiefe und/oder Kurtosis bzw. verzerrend wirkende Ausreißer geprägte Stichprobenwerteverteilung in eine konform(er)e Verteilungsform zu überführen versuchen. Resultiert keine zufriedenstellende Lösung, werden z.T. verschiedene Ansätze verfolgt, wie mit Ausreißern umgegangen wird, u.a. die vollständige Eliminierung aus dem Datensatz, die manuelle Herabsetzung des Ausreißerwertes bzw. Bootstrapping (Hallahan & Rosenthal 2000: 131ff.; Bortz & Döring 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Hellerstein 2008; Corder & Foreman 2009; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Shikano 2010: 191ff.; Buskirk et al. 2013: 126ff.; Dormann 2013; Yuan & Schuster 2013: 376ff.; Pituch & Stevens 2016). Sind Testannahmen zu stark verletzt bzw. Stichproben generell zu klein, wird traditionell zu nicht den parametrischen Pendants übergegangen, um fehlerhafte statistische Schlüsse bzw. Entscheidungen zu vermeiden. Nicht parametrische Hypothesentests treffen i.d.R. keine Annahmen über die Verteilungsform und gelten allgemein als robust gegenüber Ausreißern, sind allerdings mit dem Umstand verbunden, dass Schlüsse/Entscheidungen bei ihnen nur noch auf dem ordinalen Skalenniveau möglich sind und bei größeren Stichproben i.d.R. mit einer (wenn auch teilweise nur leicht) geringeren Teststärke als das parametrische Gegenstück einhergehen (Raithel 2008; Corder & Foreman 2009; Field 2009; Bortz &

Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Brunner & Munzel 2013; Buskirk et al. 2013: 107ff.; Rasch et al. 2014b). Nicht parametrisches Bootstrapping kommt ebenso zum Einsatz (Shikano 2010: 191ff.; Buskirk et al. 2013: 126ff.; Yuan & Schuster 2013: 376f./383).

Die o.g. Maßnahmen skizzieren die traditionelle Vorgehensweise bei verletzten Testvoraussetzungen, wobei mathematische Transformationen nicht unumstritten sind: Abgesehen davon, dass die anvisierte Ausreißerneutralisierung und/oder Normalverteilung bzw. Homoskedastizität nicht immer resultiert (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 392; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c), ist ein Kritikpunkt, dass sie sich als Maßnahme gegen fehlende Normalverteilung negativ auf die Stichprobenvarianz auswirken können (Dormann 2013), mit Folgen für Varianzanalysen (Pituch & Stevens 2016). Umgekehrt können sie als Maßnahme gegen Heteroskedastizität ungünstige Veränderungen der Stichprobenverteilung bewirken. Ferner können sie die Teststärke herabsetzen und bei mehreren Stichproben die Reihenfolge der Mittelwerte sowie die Abstände zwischen bestimmten Werten verändern. Weitere Kritik bezieht sich auf die Transformation abhängiger Variablen bei Kovarianzanalysen (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 392; Jaccard 2013: 99). Es stellt sich darüber hinaus die Frage nach der Interpretierbarkeit transformierter Daten, weshalb Tabachnick & Fidell (2007) diesen Ansatz empfehlen bei einer Skalierung, die von vornherein nur wenig intrinsisch ist.

Wie Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) anmerkt, kommen Ausreißer auf natürliche Art und Weise in einer Vielzahl von Stichproben vor (vgl. in Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010). Der Ansatz ihrer vollständigen Eliminierung aus einem Datensatz ist angesichts der verfälschenden Wirkung (ethisch) nicht unproblematisch (Dormann 2013). Larson-Hall (2010) nennt weitere Kritikpunkte wie u.a. fehlende Objektivität, Verdeckungseffekt und den fragwürdigen Umgang mit multivariaten Ausreißern, während Hellerstein (2008) traditionelle Vorgehensweisen bei verschiedenen Verteilungsformen und uni- bzw. multivariate Techniken zur Ausreißerbehandlung kritisiert. Schließlich ist zu beachten, dass die Anwendung klassischer Hypothesentests auf von Ausreißern befreite Datensätze grundsätzlich unzulässig ist (Wilcox 1998, 2006 in Jaccard 2013: 100; Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 403). Hellerstein (2008), Larson-Hall (2010) und Jaccard (2013: 100) gelangen angesichts der o.g. Kritikpunkte zu dem Schluss, dass es robuster Vorgehensweisen bedarf, die Ausreißer objektiver und stärker an die tatsächlichen Gegebenheiten einer Stichprobe angepasst zu behandeln.

Unter anderem im Kontext der Ausreißerproblematik ist in der Vergangenheit in einer Vielzahl statistischer Analysen und Monte-Carlo-Studien wiederholt gezeigt worden, dass die Validität/Reliabilität klassischer parametrischer uni-/multivariater Tests sowie nicht parametrischer Tests und vorangesetzter Eignungstests durch Verletzungen von Testannahmen häufiger und stärker abnimmt als traditionell angenommen (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 392; Jaccard 2013: 98; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Die Bedenken an den traditionellen Auswertungsmethoden beziehen sich auf die Ausreißerproblematik sowie die Verletzung der Normalverteilungs- bzw. Homoskedastizitätsannahme, die alle drei in der Realität, selbst bei randomisierten Stichproben, häufiger auftreten als bisher unterstellt (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 388ff.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Sie sind besonders dann gravierend, wenn sie in Kombination vorkommen, können je nach Ausmaß aber auch einzeln zu einer Überschreitung des nominellen Signifikanzniveaus bzw. zu einer Senkung der Teststärke führen. Dies kann zur Konsequenz haben, dass beim Einsatz klassischer Tests statistische Schlüsse bzw. Entscheidungen weniger gegen Irrtum abgesichert sind, sodass nicht existierende Unterschiede zwischen Stichproben u.U. fälschlicherweise angenommen (α-Fehler) und/oder bestehende Unterschiede nicht aufgedeckt (β-Fehler) werden. Zusammen mit unzutreffenden Effektstärken und ungenauen Konfidenzintervallen kann hieraus ein Bild von den erhobenen Stichproben und ihren Zusammenhängen

bzw. Unterschieden entstehen, das unzureichend und u.U. falsch ist (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 388ff.; Jaccard 2013: 98f.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Vor diesem Hintergrund kommt Jaccard (2013) zu folgendem Schluss:

> *„A growing number of statisticians recommend that analysts simply abandon the more traditional tests that make strong population assumptions unless they are confident in assumption viability based on theory or extant research. Rather, analysts should routinely use modern-day robust methods of analysis or, at the very least, routinely supplement traditional methods with modern robust methods* […] *These scientists recognize that cases may occur where defaulting to robust analytic strategies will result in some loss of statistical power and inaccurate probability coverage of confidence intervals (CIs). However, the argument is that in the long run, the use of robust methods will result in better Type I error protection, increased power to detect effects, and CIs that more accurately reflect the desired probability coverage* […] *Of course, it is always important to explore the shapes of distributions and dispersions of data. However, the recommendation is to view traditional tests of model assumptions and remedial strategies based on transformations with caution, deferring instead to the use of more modern robust analytic methods.*“ (ebd., S.99)

Die Erkenntnis bezüglich der Stärken von robusten Auswertungsmethoden wird von weiteren Autor/innen geteilt (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 388f.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Die zentralen Vorteile der robusten Testverfahren bestehen nach Erceg-Hurn et al. (2013: 388) bzw. Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) darin, dass sie im Gegensatz zu den traditionellen Methoden sowohl bei der Einhaltung als auch bei der Verletzung von Testannahmen akkurate Kennwerte und Testergebnisse liefern. Durch eine robuste Auswertung kann nach Wilcox (2017c) deshalb ein wesentlich tieferes und genaueres Verständnis für Stichproben und für die Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede zwischen ihnen gewonnen werden. Dabei nimmt der robuste Auswertungsansatz im Gegensatz zum traditionellen eine Sichtweise ein, bei der fehlende Normalverteilung bzw. Ausreißer in Stichproben nicht als ein problematischer Umstand für die Auswertung selbst, sondern als eine natürliche Gegebenheit (in) der untersuchten Population verstanden wird. Begegnet wird dieser Ausgangslage, indem Alternativen zu den traditionellen nicht robusten Kennwerten von Stichproben in Form von neuen robusten Kennwerten (bei Hypothesentests) zum Einsatz kommen (Erceg-Hurn et al. 2013: 394f.). Diese fokussieren weniger die Gesamtheit der Stichprobenwerte als vielmehr ihren unbeeinflussten Hauptteil im Verteilungszentrum, wodurch ein wesentlich realistischeres bzw. zutreffenderes Bild vom Gros der Werte ermöglicht wird:

> „*recent empirical findings suggest that classical methods will frequently fit neither the bulk of the* […] *data nor the outliers well, and the center and the tails of the data appear to conform to different laws. Classical estimators that assign equal importance to all available data are highly sensitive to outliers and in the presence of just a few extreme losses can produce arbitrarily large estimates of mean, variance, and other vital statistics*. […] *On the contrary, robust methods take into account the underlying structure of the data and "separate" the bulk of the data from outlying events*“ (Chernobai & Rachev 2006: 4)

Die Konzentration auf den unbeeinflussten Hauptteil der Stichprobenwerte erfolgt über die Anwendung der Konzepte der Trimmung und Winsorisierung, die sich wie folgt skizzieren lassen (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 395ff.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c):

- Bei der Trimmung werden alle Stichprobenwerte nach der Größe ihrer Werte sortiert und es wird anschließend ein vorab definierter Prozentsatz an Werten, das Trimmungsmaß (γ), aus den beiden Verteilungsrändern aus der Berechnung, z.B. eines getrimmten Mittelwerts (M_γ), ausgeschlossen.
- Bei der Winsorisierung werden alle Stichprobenwerte nach der Größe ihrer Werte sortiert und es wird ein vorab definierter Prozentsatz an Werten, das Winsorisierungsmaß (*w*), anschließend von den Werten her so verändert, dass die Werte am unteren Verteilungsrand alle auf den nächst höheren, nicht winsorisierten Wert und die Werte am oberen Verteilungsrand alle auf den vorangegangen kleineren, nicht winsorisierten Wert gesetzt werden.

Insbesondere die Trimmung ist Kritik ausgesetzt, da sie z.T. als ein Wegwerfen von wertvollen Informationen wahrgenommen wird. Dies gilt v.a. dann, wenn aufgrund eines vorab definierten γ Stichprobenwerte ausgeschlossen werden, die faktisch keine Ausreißer darstellen (Chernobai & Rachev 2006; Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Shikano 2010: 712f.). In dieser Hinsicht gilt es sich in Anlehnung an Chernobai & Rachev (2006) und Erceg-Hurn et al. (2013: 403) die Zielsetzung des robusten Ansatzes zu vergegenwärtigen, die explizit darin besteht, das unbeeinflusste Gros der Stichprobenwerte statistisch so zutreffend wie möglich zu beschreiben. Selbst wenn die Kritik am Trimmungskonzept als eine Einschränkung der Aussagekraft der robusten Auswertungsmethoden angenommen wird, überwiegen ihre Vorteile aufgrund zutreffenderer Kennwerte (exaktere Mittelwerte etc.), besserer Testeigenschaften (Einhaltung von nominellem Signifikanzniveau und nomineller Teststärke) und genauerer Testergebnisse (exaktere *p*-Werte, engere Konfidenzintervalle etc.) traditionelle Auswertungsansätze (Chernobai & Rachev 2006; Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 399ff.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Wie Erceg-Hurn et al. (2013: 400) bemerken, weisen traditionelle Methoden nur dann eine höhere Teststärke auf, wenn alle Testannahmen (nahezu) uneingeschränkt eingehalten werden, wobei dieser Umstand den Autoren zufolge nur eine äußerst geringe Wahrscheinlichkeit besitzt.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Vorzüge des robusten Auswertungsansatzes werden die in dieser Arbeit erhobenen CM- und Fragebogendaten über robuste Methoden statistisch ausgewertet. Zum Auswertungszeitpunkt (2018) sind robuste Kennwerte und Hypothesentests noch wenig verbreitet in der (v.a. deutschsprachigen) Statistik-Literatur und darüber hinaus. Einer der führenden Autoren in diesem Bereich ist Wilcox (2017a, 2017b, 2017c), dessen Herangehensweise an die Datenauswertung in dieser Arbeit übernommen wird[102]. Die Bestimmung der robusten Kennwerte und die Durchführung der robusten Hypothesentests erfolgt über den Einsatz der vom Autor (mit) entwickelten und in Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) dargestellten R-Funktionen für die statistische Analysesoftware RStudio (Version 1.0.153), die die statistische Programmiersprache R in der Version 3.4.1 nutzt. Zum Einsatz kommen die R-Funktionen des Funktionspakets *WRS2*[103] sowie der umfangreicheren Version *Rallfun-v30.R* bzw. *Rallfun-v34.R*[104].

Die im Zuge des robusten Auswertungsansatzes ermittelten Kennwerte und erzielten Testergebnisse beziehen sich jeweils nur auf das nicht getrimmte Zentrum der Stichprobenwerteverteilung und ermöglichen ausschließlich Aussagen über dieses. Sofern nicht anders beschrieben, sind keine Aussagen über die getrimmten Verteilungsränder möglich.

---

[102] In den Lehrbüchern des Autors zu den robusten Auswertungsmethoden sind die eingesetzten Verfahren ausführlich in ihren mathematischen Grundlagen dargestellt, bezüglich ihrer jeweiligen Eigenschaften diskutiert und gegen die traditionell verwendeten Methoden abgewogen.

[103] Heruntergeladen von http://cran.r-project.org/

[104] Beide heruntergeladen von https://dornsife.usc.edu/labs/rwilcox/software/

Der statistischen Auswertung der erhobenen Daten liegt in Anlehnung an Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) ein multiperspektivischer Ansatz zugrunde, um verschiedene statistische Einblicke zu erhalten und auf diesem Wege mit Blick auf die Forschungsfragen/-hypothesen ein vertieftes Verständnis für die CM-Leistungen und erhobenen KVs sowie für deren potenzielle Zusammenhänge innerhalb und zwischen den beiden Testgruppen zu bekommen. Im Kontext der statistischen Auswertung der CM-Daten (Kapitel 5.2), der Fragebogendaten (Kapitel 5.3) und der Bestimmung des moderierenden Einflusses (Kapitel 5.4) bezieht sich Multiperspektivität auf folgende Aspekte:

- *Verschiedene Analysen*: Die mittels der CM-Daten durchgeführte Überprüfung der aufgestellten statistischen Hypothesen ($\alpha = 0{,}05$ und $\beta = 0{,}80$) erfolgt über spezifische robuste Hypothesentests. Dies sind im Hinblick auf die H_1 ($H_{1.1}$ bis $H_{1.5}$) die Analyse der Entwicklung der UG von t_0 zu t_1 und mit Blick auf die H_2 ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$) die Analyse der Entwicklung der UG relativ zur VG von t_0 zu t_1. Um darüber hinaus ein noch tieferes Verständnis für die Verhältnisse (Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede) zwischen den Testgruppen zu Beginn, während und am Ende der Intervention zu erhalten, die u.U. wertvolle zusätzliche Erkenntnisse für die Beantwortung der Forschungsfrage 2 erbringen, werden weitere Analysen zu t_0 und t_1 sowie zur Entwicklung der VG durchgeführt.
- *Verschiedene Auswertungsmethoden*: In Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) werden verschiedene methodische Herangehensweisen (R-Funktionen) an die Bestimmung von robusten Kennwerten und die Durchführung von robusten Hypothesentests vorgestellt. Aus dieser Menge werden für die multiperspektivische Auswertung der CM- und Fragebogendaten sowie der Bestimmung des moderierenden Einflusses verschiedene Herangehensweisen (R-Funktionen) ausgewählt und parallel angewendet.
- *Verschiedene Trimmungsmaße und Kennwerte*: Allgemein wird ein γ von 20% empfohlen, d.h. ein Ausschluss der obersten und untersten 20% der Stichprobenwerte, um die Kennwerte des von Ausreißern unbeeinflussten Zentrums der Stichprobenwerteverteilung robust zu schätzen (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Erceg-Hurn et al. 2013: 395; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Um der Kritik am Trimmungskonzept zu begegnen, dass bei einem vorab definierten γ u.U. Stichprobenwerte ausgeschlossen werden, die keine Ausreißer sind, kommen bei der Auswertung der CM- und Fragebogendaten verschiedene γ zum Einsatz, die die obersten und untersten 5% ($\gamma = 0{,}05$), 10% ($\gamma = 0{,}10$) bzw. 20% ($\gamma = 0{,}20$) der Stichprobenwerte ausschließen[105]; darüber hinaus werden robuste Kennwerte eingesetzt, die datenbasiert trimmen bzw. überhaupt nicht trimmen. Aus auswertungsökonomischen Gründen findet bei der Bestimmung des moderierenden Einflusses ausschließlich $\gamma = 0{,}20$ Anwendung.

Während die verschiedenen Analysen keine α-Fehler-Inflation hervorrufen (wegen unterschiedlicher inhaltlicher Fragestellungen bzw. verschiedener Daten), führt der Einsatz verschiedener R-Funktionen bzw. die Verwendung verschiedener Trimmungsmaße/Kennwerte zu einer größeren Testanzahl. Für die diesbezügliche α-Fehler-Kontrolle liegen verschiedene Verfahren vor, die sich in eine konservativere und eine liberalere Ausrichtung unterscheiden und z.T. auf eigenen Annahmen beruhen (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Wegen der explorativen Ausrichtung dieser Arbeit wird eine (zu) konservative Kontrolle vermieden. Die Korrektur der false discovery rate (FDR) nach Benjamini & Hochberg (1995) bietet einen liberaleren Ansatz, bei dem die Anzahl angenommener Nullhypothesen Berücksichtigung findet. Die FDR-Korrektur, die per R-Funktion *p.adjust*[106] durchgeführt wird, ist v.a. bei einer größeren

[105] Für $\gamma = 0{,}20$ sind mindestens fünf Stichprobenwerte, für $\gamma = 0{,}10$ mindestens 10 Stichprobenwerte und für $\gamma = 0{,}05$ mindestens 20 Stichprobenwerte nötig.

[106] *p.adjust(p,method="fdr",n=length(p))*

Testanzahl mit einer höheren Teststärke verbunden (Benjamini & Hochberg 1995; García 2004; Benjamini et al. 2006; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c), kann u.U. allerdings dazu führen, dass signifikante Testergebnisse nach der Korrektur nicht mehr signifikant sind.

Die traditionell a priori durchgeführte Analyse des optimalen Stichprobenumfangs zur Gewährleistung der Einhaltung der nominellen Teststärke erfordert vorab die Festlegung einer Effektstärke, z.B. auf der Grundlage von Cohen (1988). Für die korrekte inhaltliche Interpretation von Testergebnissen wird zudem die aktuelle Teststärke von Tests, die eine Beibehaltung der H_0 nahelegen, post hoc ermittelt (Bortz & Döring 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Larson-Hall 2010; Bortz & Schuster 2010; Dormann 2013; Kelley 2013: 211f.; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016). Der o.g. Ansatz wird ohne Bezug zu konkreten Daten ausschließlich im theoretischen Raum (und) unter Annahme einer Normalverteilung durchgeführt (Erdfelder et al. 1996; Bortz & Schuster 2010). Weichen Stichprobenkennwerte von der Normalverteilungsannahme ab, wirkt sich dies, wie in Kapitel 5 dargelegt, dahingehend aus, dass die angesetzte Teststärke nicht erreicht und die Wahrscheinlichkeit für einen β-Fehler größer als beabsichtigt ist. Aus der Sicht des robusten Auswertungsansatzes ist eine Analyse des optimalen Stichprobenumfangs a priori nicht notwendig. Stattdessen werden die Eigenschaften der erhobenen Stichprobenwerteverteilung als Ausgangspunkt für die Bestimmung der notwendigen Stichprobengröße post hoc herangezogen, sodass der Stichprobenumfang ggf. auf das benötigte Maß erweitert oder zumindest die aktuelle Teststärke eingeschätzt werden kann (persönliche Mitteilung von R. Wilcox).

Bevor im weiteren Verlauf die robusten Auswertungsmethoden einzeln vorgestellt werden, wird nachfolgend zuerst die statistisch notwendige Reduktion der Anzahl an Auswertungsgrößen erläutert.

5.1 Statistisch notwendige Reduktion der Anzahl an Auswertungsgrößen

Die in Kapitel 4.5.4 aus inhaltlichen Überlegungen heraus gebildeten Auswertungsgrößen werden mittels einer einzigen CM erhoben. Angesichts ihres gemeinsamen Ursprungs ist aus statistischer Sicht davon auszugehen, dass sie – zumindest zu einem gewissen Grad – statistische Abhängigkeiten untereinander aufweisen (Shadish et al. 2002). Traditionell werden derartige Abhängigkeiten bei metrischen Variablen über die Produkt-Moment-Korrelation von Bravais-Pearson bestimmt (Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Rasch et al. 2014a), bei der es bereits bei leichten Abweichungen, Ausreißern, Heteroskedastizität bzw. nicht-linearen Zusammenhängen zwischen Variablen zu Verzerrungen kommen kann (Larson-Hall 2010; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Als Korrekturmaßnahme wird neben Transformationen und Ausreißereliminierung auch ein Wechsel zu Kendall's Tau (τ) bzw. Spearman's Rho (ρ) vollzogen (Larson-Hall 2010). Gemäß Wilcox (2017b, 2017c) sind τ und ρ gegen Ausreißer anfällig, weshalb vom Autor als robuste Alternative der winsorisierte Korrelationskoeffizient vorgeschlagen wird, der bivariate Pearson-Korrelationen auf der Basis winsorisierter Stichprobenwerte angibt[107], sodass deren Interpretationsrichtlinien gelten[108]. Die Koeffizienten in Tabelle 32 sind für die ursprüngliche Anzahl für die CM_{vorw} (nicht kursiv geschrieben) und CM_{mod} (kursiv geschrieben) bei w = 0,20 bestimmt[109]. Hiervon ausgenommen sind alle Korrelationen mit dem CM-TS, die wegen der Verteilungsart der Stichprobenwerte bei dieser Auswertungsgröße nicht berechnet werden können, weshalb für den CM-TS ρ angegeben ist (Werte in Klammern).

[107] R-Funktion *wincorci(x,y,nboot=1000,alpha=0.05,tr=0.2)*

[108] Keine Korrelation bei r = |0,00|, schwache Korrelation bei |0,00| < r < |0,50|, moderate Korrelation bei |0,50|< r < |0,80|, starke Korrelation bei |0,80|< r < |1,00|und perfekte Korrelation bei r = |1,00|.

[109] Auch dieser Korrelationskoeffizient ist gegen Heteroskedastizität und Ausreißer anfällig. Dies hat nach Wilcox (2017b) jedoch keine praktische Auswirkung auf den Hypothesentest.

Tabelle 32: Bivariate Korrelationen zwischen den usprünglichen Auswertungsgrößen bei CM_{vorw} und CM_{mod}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	--	*-0,013*	*0,873**	*-0,046*	*0,624**	*0,514**	*0,612**	*0,477**	*0,206*	*0,793**	*(-0,173)*	*0,637**	*0,147*	*0,672**	*-0,053*
2	-0,034	--	*-0,014*	*0,914**	*0,025*	*0,384**	*0,079*	*0,400**	*0,253**	*0,358**	*(-0,084)*	*0,114*	*0,301**	*0,144*	*-0,011*
3	0,878*	-0,041	--	*-0,042*	*0,581**	*0,537**	*0,622**	*0,529**	*0,198*	*0,752**	*(-0,086)*	*0,638**	*0,228*	*0,669**	*-0,016*
4	-0,079	0,881*	-0,075	--	*0,009*	*0,367**	*0,079*	*0,396**	*0,233*	*0,303**	*(-0,095)*	*0,117*	*-0,227*	*0,141*	*0,022*
5	0,697*	0,022	0,616*	-0,023	--	*0,158*	*0,921**	*0,119*	*0,115*	*0,688**	*(-0,162)*	*0,683**	*0,484**	*0,705**	*-0,011*
6	0,414*	0,413*	0,435*	0,408*	0,132	--	*0,238**	*0,898**	*0,368**	*0,681**	*(-0,108)*	*0,469**	*0,134*	*0,506**	*0,033*
7	0,663*	0,027	0,665*	0,038	0,890*	0,202	--	*0,202*	*0,121*	*0,706**	*(-0,117)*	*0,698**	*0,473**	*0,720**	*-0,009*
8	0,402*	0,415*	0,443*	0,441*	0,094	0,905*	0,174	--	*0,389**	*0,632**	*(-0,065)*	*0,456**	*0,080*	*0,488**	*-0,016*
9	0,326*	0,235	0,338*	0,245*	0,234	0,386*	0,235	0,405*	--	*0,317**	*(-0,092)*	*0,142*	*-0,003*	*0,165*	*-0,046*
10	0,783*	0,039	0,737*	0,325*	0,701*	0,609*	0,693*	0,589*	0,457*	--	*(-0,114)*	*0,739**	*0,265**	*0,791**	*-0,011*
11	(-0,095)	(-0,011)	(-0,068)	(-0,008)	(-0,110)	(-0,054)	(-0,077)	(-0,045)	(-0,053)	(-0,076)	--	*(-0,177)*	*(-0,101)*	*(-0,172)*	*(0,020)*
12	0,557*	0,144	0,549*	0,113	0,618*	0,412*	0,612*	0,395*	0,289*	0,702*	(-0,091)	--	*0,446**	*0,996**	*0,032*
13	0,160	-0,125	0,231	-0,088	0,465*	0,144	0,467*	0,091	0,024	0,290*	(-0,064)	0,471*	--	*0,441**	*0,064*
14	0,616*	0,191	0,603*	0,151	0,664*	0,463*	0,658*	0,444*	0,329*	0,782*	(-0,096)	0,990*	0,473*	--	*0,029*
15	-0,043	-0,036	-0,057	-0,036	-0,062	-0,026	-0,083	-0,058	0,013	-0,068	(-0,028)	-0,023	-0,068	-0,029	--

1 = K-Anzahl$_{ELE}$, 2 = K-Anzahl$_{PRO}$, 3 = K-Wert$_{ELE}$, 4 = K-Wert$_{PRO}$, 5 = S-Anzahl$_{BEZ}$, 6 = S-Anzahl$_{PRO}$, 7 = S-Wert$_{BEZ}$, 8 = S-Wert$_{PRO}$, 9 = CM-SRG, 10 = CM-GU, 11 = CM-TS, 12 = CM-SP, 13 = CM-VNI, 14 = CM-KPI, 15 = CM-KPG

* Signifikanz nach Bonferroni-Korrektur: $\alpha' \leq 0{,}00048$. Werte in Klammern beruhen auf ρ.

Das Problem des multiplen Testens gilt auch für die in Tabelle 32 bestimmten Korrelationen. Der an dieser Stelle verwendete Korrektur-Ansatz ist nach Bonferroni, weshalb jeder einzelne Test mit $\alpha' = 0{,}00048$ durchgeführt wird; alternativ kann der *p*-Wert mit der Testanzahl multipliziert und manuell mit α verglichen werden. Im Vergleich zur FDR die Bonferroni-Korrektur ist eine konservativere Korrekturmaßnahme, die bei kleineren Stichproben mit einer Senkung der Teststärke verbunden ist, die umso gravierender wird, je mehr Tests durchgeführt werden (García 2004; Huberty & Olejnik 2006; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Pituch & Stevens 2016; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Mit Blick auf Tabelle 32 bedeutet dies, dass neben den zahlreichen signifikant hohen positiven Korrelationen u.U. noch weitere signifikant sind, die hier wegen der konservativeren Natur der Bonferroni-Korrektur nicht als solche angezeigt werden. Keine Signifikanz zeigen durchweg die (auf *ρ* beruhenden) Korrelationen mit dem CM-TS sowie jene mit dem CM-KPG. Insgesamt sind größere statistische Zusammenhänge zwischen den meisten Auswertungsgrößen zu erkennen. Grundsätzlich erfassen hoch miteinander korrelierende Variablen gleiche oder ähnliche Facetten eines Konstrukts (Tabachnick & Fidell 2007). Redundanz wirkt sich negativ auf die Teststärke aus[110], die umso stärker abnimmt, je mehr Variablen eingebunden sind (Cohen 1988; Pituch & Stevens 2016). Um diesem Umstand zu begegnen, ist eine statistisch begründete und inhaltlich zu verantwortende Reduzierung der Anzahl an Auswertungsgrößen notwendig (García 2004). Hohe Korrelationen zeigen im Wesentlichen die Auswertungsgrößen $\text{K-Anzahl}_{\text{ELE/PRO}}$, $\text{K-Wert}_{\text{ELE/PRO}}$, $\text{S-Anzahl}_{\text{BEZ/PRO}}$, $\text{S-Wert}_{\text{BEZ/PRO}}$ und CM-KPI. Mit Blick auf eine Reduzierung bei den vier Erstgenannten bestehen inhaltlich folgende Optionen:

a.) Es werden $\text{K-Anzahl}_{\text{ELE}}$ und $\text{K-Wert}_{\text{ELE}}$, $\text{K-Anzahl}_{\text{PRO}}$ und $\text{K-Wert}_{\text{PRO}}$, $\text{S-Anzahl}_{\text{BEZ}}$ und $\text{S-Wert}_{\text{BEZ}}$ sowie $\text{S-Anzahl}_{\text{PRO}}$ und $\text{S-Wert}_{\text{PRO}}$ jeweils zu einer Größe zusammengefasst. Es bietet sich diesbezüglich der Quotient aus dem jeweiligen Wert und der jeweiligen Anzahl an. Problematisch hierbei ist, dass dieser eine Differenzierung zwischen Proband/innen, die viele Konzepte/Sinneinheiten mit vielen Punkten haben, und Proband/innen, die nur wenige Konzepte/Sinneinheiten mit wenigen Punkten haben, nicht mehr ermöglicht, da Beide u.U. gleiche Quotienten besäßen.

b.) Es wird entweder jeweils der Wert oder die Anzahl aus der Auswertung ausgeschlossen:

- Ausschluss des Werts: Aus der Anzahl geht die Wertigkeit nur in dem Sinne hervor, dass die Anzahl sich ausschließlich auf gewertete Konzepte/Sinneinheiten bezieht. Ob wenige oder viele Punkte vergeben werden, ist hier kein Unterscheidungskriterium.
- Ausschluss der Anzahl: Die Anzahl ist insofern in Wert enthalten, als dass nur Proband/innen mit vielen gewerteten Konzepten/Sinneinheiten viele Punkte bekommen; umgekehrt sind bei wenigen gewerteten Konzepten/Sinneinheiten weniger Punkte möglich. Bei dieser Variante kann allerdings nur noch begrenzt oder u.U. nicht mehr differenziert werden zwischen Proband/innen mit wenigen Konzepten/Sinneinheiten, die die höchste Punktezahl erhalten haben, und Proband/innen mit vielen Konzepten/Sinneinheiten mit geringer Punktezahl.

Die o.g. Optionen sind mit Informationsverlusten verbunden, die bei der Quotient-Variante am größten zu sein scheinen, da die gruppeninternen Verhältnisse stärker aufgelöst werden. Die Entscheidung, welche Auswertungsgrößen auszuschließen sind, hängt von der relativen Bedeutung ab, die der Wertigkeit beigemessen wird. Ein positiver Nebeneffekt des Ausschlusses von Anzahl ist, dass die hohe Korrelation mit dem CM-GU hinfällig wird. Aus der Auswertung ausgeschlossen werden schlussendlich

[110] Hochgradig negativ korrelierende AVs führen zu einer hohen Teststärke, während moderat positive wie negative Korrelationen ($r = |0{,}60|$) eine akzeptable Absicherung gegen einen β-Fehler bieten. Hohe positive sowie minimale Korrelationen senken hingegen die Teststärke (Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009).

K-Anzahl$_{ELE}$, K-Anzahl$_{PRO}$, S-Anzahl$_{BEZ}$ und S-Anzahl$_{PRO}$. Dies gilt ferner für den CM-KPI, da CM-GU und CM-SP, mit denen jeweils hohe Korrelationen bestehen, in die Berechnung des CM-KPI eingehen; auffällig ist, dass hingegen keine hohe Korrelation mit dem CM-VNI besteht.

Wegen der statistisch notwendigen Reduzierung auf 10 Auswertungsgrößen verändert sich das bisher verwendete Signifikanzniveau für jede bivariate Korrelation. Die Korrelationen zwischen den verbleibenden Auswertungsgrößen sind in Tabelle 33 auf der Grundlage des neuen Niveaus (α' = 0,001) dargestellt: Erneut sind die Korrelationen im Rahmen der CM$_{vorw}$ nicht kursiv und die im Rahmen der CM$_{mod}$ kursiv geschrieben, während in Klammern *ρ* für den CM-TS angegeben ist.

Tabelle 33: Bivariate Korrelationen zwischen den verbleibenden Auswertungsgrößen bei CM$_{vorw}$ und CM$_{mod}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	--	*-0,042*	*0,622**	*0,529**	*0,198*	*0,752**	*(-0,086)*	*0,638**	*0,228*	*-0,016*
2	-0,075	--	*0,079*	*0,396**	*0,233*	*0,303**	*(0,095)*	*0,117*	*-0,227*	*0,022*
3	0,665*	0,038	--	*0,202*	*0,121*	*0,706**	*(-0,117)*	*0,698**	*0,473**	*-0,009*
4	0,443*	0,441*	0,174	--	*0,389**	*0,632**	*(-0,065)*	*0,456**	*0,080*	*-0,016*
5	0,338*	0,245*	0,235	0,405*	--	*0,317**	*(-0,092)*	*0,142*	*-0,003*	*-0,046*
6	0,737*	0,325*	0,693*	0,589*	0,457*	--	*(-0,114)*	*0,739**	*0,265**	*-0,011*
7	(-0,068)	(-0,008)	(-0,077)	(-0,045)	(-0,053)	(-0,076)	--	*(-0,177)*	*(-0,101)*	*(-0,020)*
8	0,549*	0,113	0,612*	0,395*	0,289*	0,702*	(-0,091)	--	*0,446**	*0,032*
9	0,231	-0,088	0,467*	0,091	0,024	0,290*	(-0,064)	0,471*	--	*0,064*
10	-0,057	-0,036	-0,083	-0,058	0,013	-0,068	(0,028)	-0,023	-0,068	--

1 = K-Wert$_{ELE}$, 2 = K-Wert$_{PRO}$, 3 = S-Wert$_{BEZ}$, 4 = S-Wert$_{PRO}$, 5 = CM-SRG, 6 = CM-GU, 7 = CM-TS, 8 = CM-SP, 9 = CM-VNI, 10 = CM-KPG

* Signifikanz nach Bonferroni-Korrektur: α' ≤ 0,001. Werte in Klammern beruhen auf *ρ*.

Die nachfolgend vorgestellten Auswertungsmethoden für die CM-Daten werden auf die reduzierte Anzahl von 10 Auswertungsgrößen angewendet, wobei zu beachten ist, dass sich die dahinter stehenden Fähigkeiten zur Identifikation der Systemelemente, der Beziehungen zwischen ihnen sowie der Systemprozesse weniger auf die inhaltlich-strukturelle Ebene (Anzahl) als vielmehr auf die Wertigkeitsebene beziehen, in der erstere implizit enthalten ist.

5.2 Robuste Auswertung der CM-Daten

Auf die Vorstellung des robusten Interrater-Vergleichs (Kapitel 5.2.1) und der Bestimmung der robusten Kennwerte (Kapitel 5.2.2) folgt die der robusten Verfahren für die Auswertung der erhobenen Daten zu den Auswertungsgrößen (Kapitel 5.2.3 und 5.2.4).

5.2.1 Robuster Interrater-Vergleich

Um ein umfangreiches und detailliertes Bild über das Ausmaß zu geben, zu dem die Beurteilungen der beiden Rater auf verschiedenen Betrachtungsebenen miteinander übereinstimmen bzw. voneinander abweichen, werden zu den Auswertungsgrößen in Tabelle 33 zusätzlich folgende mit hinzugenommen:

- K-Wert$_{korres}$ und S-Wert$_{korres}$ fokussieren die Übereinstimmung bei der Beurteilung von Korrespondenzen mit dem Referenznetz.
- K-Wert$_{sys}$ und S-Wert$_{sys}$ zeigen die Übereinstimmung bei der Einschätzung der sonstigen Systemrelevanz der nicht korrespondierenden Konzepte und Sinneinheiten.
- K-Anzahl$_{ng}$ und S-Anzahl$_{ng}$ geben Auskunft über die Übereinstimmung im Bereich der als nicht systemrelevant beurteilten Konzepte und Sinneinheiten.

Für den Interrater-Vergleich im Bereich der insgesamt 10 + 6 Auswertungsgrößen wird aufgrund der metrischen Skalierung traditionell der intraclass correlation coefficient (ICC) herangezogen, der als Maß für die Quantifizierung der relativen Übereinstimmung (Interrater Reliabilität) gilt, indem über eine Gewichtung die Magnitude der Abweichungen zwischen den Ratern in die Berechnung mit einfließt (Tinsley & Weiss 2000: 106; Stemler & Tsai 2008; Hallgren 2012; Gisev et al. 2013). Wilcox (2017a) empfiehlt eine robuste Alternative mit Winsorisierung[111] auf der Basis eines Random-Effects-Modells, bei dem das Ausmaß bestimmt wird, zu dem zwei Stichprobenverteilungen voneinander abweichen. Der winsorisierte ICC wird für $w = 0{,}20$ ($ICC_{(w = 0{,}20)}$) bestimmt. Hohe $ICC_{(w = 0{,}20)}$-Werte weisen auf große Unstimmigkeiten hin, während niedrige eine hohe Übereinstimmung andeuten (Wilcox 1994).

Als Auskunft über die absolute Übereinstimmung (Interrater Agreement) wird Cohen's Kappa (κ) hinzugezogen (Cohen 1960; Tinsley & Weiss 2000: 112ff.; Gisev et al. 2013), dessen Berechnung in SPSS (Version 22) erfolgt. Um κ zu bestimmen, werden alle Auswertungsgrößen ordinalisiert, indem mittels Quintile, ggf. auch Quartile oder Terzile, die Kategoriengrenzen bestimmt werden (Cohen 1960; Tinsley & Weiss 2000: 112ff.; Bortz & Döring 2006; Bortz & Schuster 2010; Gisev et al. 2013). Da bei κ eine dichotome Zuordnung in übereinstimmend und nicht übereinstimmend erfolgt, gilt dieser Koeffizient als konservativ, sodass niedrige κ-Werte nicht zwangsweise auf eine geringe Übereinstimmung hinweisen müssen (Gisev et al. 2013). Generell variiert κ zwischen -1 und +1, wobei negative Werte eine Wahrscheinlichkeit geringer als die des Zufalls andeuten (Fleiss et al. 2003: 603f.). Nach Landis & Koch (1977) wird in eine schwache ($\kappa = 0{,}01 – 0{,}40$), eine ausreichende bis gute ($\kappa = 0{,}40 – 0{,}75$) und eine ausgezeichnete ($\kappa > 0{,}75$) Übereinstimmung jenseits von Zufall differenziert.

5.2.2 Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_0 und t_1

Die Ausprägung der Auswertungsgrößen zu t_0 (CM_{vorw}) und t_1 (CM_{mod}) wird im Rahmen der in Tabelle 34 dargestellten robusten Kennwerte samt R-Funktion ermittelt. Da der traditionell als Lagemaß eingesetzte Mittelwert (M) empfindlich gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung bzw. Ausreißern ist, wird als robuste Alternative der getrimmte Mittelwert (M_γ) bestimmt (Chernobai & Rachev 2006; Hellerstein 2008; Keselman et al. 2008; Field 2009; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 395; Yuan & Schuster 2013: 368; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Wie in Kapitel 5 dargelegt, wird M_γ mit zugehörigem 95%-Konfidenzintervall (95%-$KI_{(M\gamma)}$) und Standardfehler ($SE_{(M\gamma)}$) bei $\gamma = 0{,}05$, $\gamma = 0{,}10$ und $\gamma = 0{,}20$ bestimmt. Als weitere robuste Lagemaße werden die vier M-Schätzer nach Huber (Hu), Tukey-Biweight (Tu), Hampel (Ha) und Andrews (An) ermittelt, die aus der Stichprobenverteilung heraus bestimmt werden (Shikano 2010: 713; Erceg-Hurn et al. 2013: 396; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Des Weiteren wird der zur Gruppe der skipped estimator gehörende modified one-step M-estimator (MOM) bestimmt, der das Mittel jener Werte bestimmt, die nicht von der MAD-Median-Regel[112] (MAD-

[111] R-Funktion *rananova(x,tr=0.2,grp=NA)*

[112] Die median absolute deviation (MAD) ist ein robustes Streuungsmaß, bei dem der Wert des Medians von jedem Stichprobenwert subtrahiert und anschließend der Median der sich daraus ergebenden Werte bestimmt wird.

M) als Ausreißer identifiziert und für die Berechnung temporär entfernt werden (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Es wird ferner der Median als robustes Lagemaß angegeben.

Tabelle 34: Kennwerte der Ausprägung der Auswertungsgrößen in den Gruppen zu t_0 und t_1

KLASSISCHE KENNWERTE	ROBUSTE KENNWERTE
▪ Mittelwert: M ▪ 95%-Konfidenzintervall von M: 95%-KI ▪ Standardfehler von M: SE ▪ Standardabweichung: SD / Varianz: VAR ▪ Median ▪ *z*-Wert ▪ Ausreißer nach Boxplot-Regel: BPR	▪ getrimmte Mittelwerte: $M_{(\gamma = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$ => *mean(x,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ 95%-KI von $M_{(\gamma = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$: $95\%\text{-KI}_{(\gamma = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$ => *trimpb(x,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05,nboot=2000)* ▪ Standardfehler von $M_{(\gamma = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$: $SE_{(\gamma = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$ => *trimse(x,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ winsorisierte Varianz: $VAR_{(w = 0,05 / 0,10 / 0,20)}$ => *winvar(x,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ Median* ▪ M-Schätzer** a.) Huber: Hu c.) Hampel: Ha b.) Tukey-Biweight: Tu d.) Andrews: An ▪ modified one-step M-estimator: MOM => *mom(x)* ▪ Ausreißer nach modifizierter Boxplot-Regel: mBPR => *adjboxout(x)* ▪ Ausreißer nach MAD-Median-Regel: MAD-M => *outpro(x)*

* in SPSS (Version 22) berechnet; ** in SPSS (Version 22) mit Perzentil-Bootstrapping (2000 Stichproben) berechnet

Traditionelle Streuungsmaße wie Standardabweichung (SD) bzw. Varianz (VAR) sind ebenfalls anfällig gegenüber Ausreißern (Chernobai & Rachev 2006; Erceg-Hurn et al. 2013: 396; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Als robuste Alternative wird die winsorisierte Varianz (VAR_w) ermittelt, wobei *w* gemäß Keselman et al. (2008), Erceg-Hurn et al. (2013: 397) und Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) äquivalent zum jeweiligen γ gehalten wird, d.h. es wird $w = 0,05$, $w = 0,10$ und $w = 0,20$ verwendet.

Die traditionelle Ausreißeridentifizierung mittels *z*-Wert ist nur bei normalverteilten Daten korrekt durchführbar (Erceg-Hurn et al. 2013: 397) und zudem dadurch beeinflusst, dass die Wahrscheinlichkeit für Ausreißer mit der Stichprobengröße zunimmt (Tabachnick & Fidell 2007). Nach Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) unterliegt dieser Ansatz der Gefahr der Verdeckung (masking). Auch die traditionelle Boxplot-Regel (BPR) ist dem Autor zufolge mit Nachteilen behaftet. Es werden Ausreißer deshalb über eine modifizierte Variante der BPR (mBPR) per R-Funktion *adjboxout* sowie über die MAD-M, die mit größeren Mengen an Ausreißern umgehen zu kann ohne selbst funktionell beeinflusst zu werden, per R-Funktion *outpro* bestimmt (Wilcox 2017a, 2017b).

5.2.3 Robuster Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels D

Die Testgruppen werden zu t_0, zu t_1 und auf der Basis der Differenzwerte (*D*)[113] über die Hypothesentests mit R-Funktion in Tabelle 35 miteinander verglichen, wobei im Rahmen von *D* die Überprüfung der H_2 bzw. $H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$ erfolgt. Es wird jeweils die Ausprägung in der VG von der in der UG subtrahiert.

Werden inhaltliche Zusammenhänge zwischen den Dimensionen eines Konstrukts (systemisches Denken in der BNE) als separate AVs (Fähigkeiten) erfasst, drücken sich diese statistisch in hohen Korrelationen aus (vgl. Kapitel 5.1) und können bei einem multivariaten Test zu einer höheren Teststärke

[113] Für die Bestimmung der relativen Entwicklung der beiden Gruppen in der Intervention wird die Differenz zwischen dem CM_{mod}-Wert und dem CM_{vorw}-Wert bei jeder CM gebildet ($D = CM_{mod} - CM_{vorw}$) und anschließend der M_γ der Differenzwerte aller CMs berechnet.

führen, wenn sie nicht zu hoch sind. Dies kann dazu führen, dass „*small differences on several of the variables may combine to produce a reliable overall difference*“ (Pituch & Stevens 2016: 143), weshalb u.U. signifikante Unterschiede nur auf der multivariaten Ebene aller AVs feststellbar sind.

Tabelle 35: Hypothesentests für den Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels *D*

KLASSISCHE HYPOTHESENTESTS	ROBUSTE HYPOTHESENTESTS
▪ Multivariater Hotellings T^2-Test für unabhängige Stichproben mit nachfolgenden univariaten Vergleichen bei signifikantem Testergebnis (alternativ: multiple univariate Vergleiche)	▪ Multiple univariate Tests bei γ = 0,05 / 0,10 / 0,20 => *lincon(x,con=0,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05)* ▪ Multiple univariate Tests mit Bootstrap-t bei γ = 0,05 / 0,10 => *linconbt(x,con=0,tr=0.05/0.1,alpha=0.05,nboot=2000)* ▪ Multiple univariate Tests mit Perzentil-Bootstrapping bei γ = 0,20 => *linconpb(x,alpha=0.05,nboot=2000,grp=NA, est=tmean,con=0,bhop=T)* ▪ Multiple univariate Tests mit Perzentil-Bootstrapping anhand des MOM => *pbmcp(x,alpha=0.05,nboot=2000,grp=NA,est=mom, con=0,bhop=T)*

Traditionell wird für den multivariaten Gruppenvergleich formal der Hotellings T^2-Test für unabhängige Stichproben herangezogen. Ihm liegen die multivariaten Erweiterungen der Voraussetzungen einer ANOVA zugrunde, wobei deren Einhaltung beim T^2-Test wesentlich zwingender/strikter ist. Das traditionelle Verständnis hinsichtlich des Verhaltens bei verletzten Testannahmen entspricht den Darstellungen in Kapitel 5 (vgl. Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Pituch & Stevens 2016). Pituch & Stevens (2016) betonen die Einbeziehung von maximal 10 AVs, um Signifikanzniveau und Teststärke möglicher Post-hoc-Tests in Form von multiplen t-Tests mit α-Fehler-Kontrolle oder einer deskriptiven Diskriminanzanalyse nicht zu gefährden und Verdeckungseffekte zu vermeiden (Cohen 1988; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010). Diese Vorgehensweise birgt nach Tabachnick & Fidell (2007) die Gefahr, u.U. Erkenntnisse auf der univariaten Ebene zu versäumen, wenn keine multivariate Signifikanz besteht, z.B. weil eine zu geringe Teststärke des T^2-Tests vorliegt. Bei spezifischen Forschungshypothesen wird deshalb vom T^2-Test Abstand genommen und es werden direkt multiple univariate Kontraste gebildet (Keppel & Wickens 2004 in Pituch & Stevens 2016: 482; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Bortz & Schuster 2010). Die Sensitivität des auf die traditionellen Lage-/Streuungsmaße zurückgreifenden T^2-Tests schränkt dessen Robustheit, wie die des univariaten t-Tests, ein (Keselman et al. 2008; Larson-Hall 2010; Buskirk et al. 2013: 113; Erceg-Hurn et al. 2013: 391; Jaccard 2013: 98; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Wilcox (2017a, 2017b) schlägt eine Reihe robuster univariater Vergleichsmethoden vor, die keinen vorangehenden multivariaten Test erfordern. Für den Gruppenvergleich auf der Basis von *D* zur Überprüfung der H_2 ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$), sowie für den Vergleich zu t_0 und zu t_1, werden auf der univariaten Ebene folgende, der vom Autor vorgeschlagenen Methoden (R-Funktionen) eingesetzt:

- Die R-Funktion *lincon* führt unter Verwendung von M_γ multiple Vergleiche mit α-Fehler-Kontrolle auf der Basis einer Erweiterung von Dunnett's T_3-Test durch[114], der mit heterogenen Varianzen umgehen kann. Als Bootstrapping-Varianten werden eingesetzt *linconbt* mit Bootstrap-t bei γ = 0,05 und γ = 0,10 sowie *linconpb* mit Perzentil-Bootstrapping bei γ = 0,20.

[114] Mittels der R-Funktion *hochberg(x,x2,cil=NA,crit=NA,con=0,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05,iter=10000)* kann die benötigte Stichprobengröße für ein möglichst enges 95%-KI und damit eine möglichst präzise Lage der M_γ-Differenz post hoc ermittelt werden (Wilcox 2017a, 2017b).

- Die R-Funktion *pbmcp* vergleicht Gruppen mittels Perzentil-Bootstrapping anhand des MOM, wobei wegen $N > 80$ bei beiden Testgruppen zur Kontrolle der Wahrscheinlichkeit eines α-Fehlers der Ansatz von Benjamini & Hochberg eingesetzt wird.

Zeigt sich auf der univariaten Ebene keine signifikante Gruppendifferenz, kommen multivariate Tests zum Einsatz, um eventuelle Differenzen auf der Ebene aller AVs aufzudecken (Pituch & Stevens 2016; Wilcox 2017b). Hierzu finden folgende R-Funktionen aus Wilcox (2017a, 2017b) Verwendung:

- Eine MANOVA auf der Grundlage von M_γ wird über die R-Funktion *MULtr.anova*[115] bei $\gamma = 0{,}05$, $\gamma = 0{,}10$ und $\gamma = 0{,}20$ durchgeführt, wobei für die separate Bestimmung des *p*-Werts die R-Funktion *MULAOVp*[116] herangezogen wird.
- Die R-Funktion *depthg2*[117] beruht bei Perzentil-Bootstrapping auf der Anwendung des in Wilcox (2017a) erläuterten Konzepts der halfspace depth (Tiefe der Verteilung der Gruppenwerte im Werteverteilungsraum) wobei sie gegenüber unterschiedlichen Variablenskalen empfindlich sein kann. Bei randstarken Verteilungen kann ein aktuelles α resultieren, das unterhalb des nominellen Niveaus liegt und bei mehr als acht AVs weiter abnimmt.
- Die R-Funktion *mulwmwv2*[118] stellt eine multivariate Generalisierung des U-Tests/Wilcoxon-Rangsummentests dar, bei der über modifiziertes Perzentil-Bootstrapping der Schwerpunkt der Stichprobenwerte der einen Testgruppe mit dem Schwerpunkt der Stichprobenwerte der anderen Testgruppe über eine Linie miteinander verbunden wird, bevor die einzelnen Stichprobenwerte orthogonal auf diese Linie projiziert und die beiden Testgruppen miteinander verglichen werden. Als Schätzer für den Schwerpunkt wird der *Donoho-Gasko median* (DGM; cop=1), der *minimum covariance determinant* (MCD; cop=2) und die *median of the marginal distributions* (MMD; cop=3) eingesetzt, die in Wilcox (2017a) ausführlich erläutert sind.

Wie Bortz & Döring (2006) anmerken, stellt auf der univariaten Ebene der klassische Mittelwert ein sehr grobes Lagemaß für die Analyse der Verhältnisse in einer Stichprobe dar. Dies lässt sich auf M_γ übertragen, der keine Informationen über die getrimmten Verteilungsränder liefert. Obschon die Überprüfung der H_2 ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$) sowie der Vergleich zu t_0 und zu t_1 auf der Grundlage von M_γ erfolgt, kann ein zusätzlicher Vergleich der ungetrimmten Stichprobenwerteverteilungen auf der Ebene der robusten Dezile (10%- bis 90%-Quantil) detaillierte Informationen jenseits vom Maß der zentralen Tendenz ermöglichen, denn der dezilbasierte Vergleich „*allows high-scoring participants in one group to be compared to the high-scoring participants in another group, the low-scoring participants in one group to be compared to the low-scoring participants in another group, and so forth*." (Erceg-Hurn et al. 2013: 403). Auf diese Weise lässt sich ein vollständigeres Bild über die beiden Testgruppen in ihrem unmittelbaren Verhältnis zueinander zu t_0, t_1 und bei *D* gewinnen, da Gemeinsamkeiten und Unterschiede in allen Bereichen der Stichprobenwerteverteilung aufgedeckt werden können. Hierfür kommt die R-Funktion *qcomhd*[119] zum Einsatz, die auf den Harrell-Davis-Schätzer (HDS) zurückgreift, bei dem die nach der Größe geordneten Gruppenwerte mit einem Gewichtungsfaktor für die einzelnen Dezile multipliziert werden. Für die Bestimmung des 95%-KI wird Perzentil-Bootstrapping genutzt. Zusätzlich zur numerischen Ausgabe wird ein Verlaufsdiagramm erzeugt, dessen Interpretationsweise in Kapitel 6.1.2.2 vorgestellt wird. Die Teststärke ist durch die Kombination des HDS mit dem Perzentil-

[115] *MULtr.anova(x,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05)*
[116] *MULAOVp(x,tr=0.05/0.1/0.2)*
[117] *depthg2(x,y,alpha=0.05,nboot=2000)*
[118] *mulwmwv2(m1,m2,cop=1/2/3,alpha=0.05,nboot=2000,fr=0.8)*
[119] *qcomhd(x,y,q=c(0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9),nboot=2000,SEED=T,alpha=0.05)*

Bootstrapping auch im Bereich der oberen/unteren Dezile akzeptabel. Zur Vermeidung der α-Fehler-Inflation wird das Korrekturverfahren von Hochberg eingesetzt (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c).

Da signifikante Testergebnisse keine Auskunft über ihre inhaltliche/praktische Bedeutsamkeit liefern (Wilkinson & Task Force on Statistical Inference 1999; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016; Wilcox 2017b, 2017c), ist die Bestimmung von Effektstärken notwendig. Wilcox (2017a, 2017c) betont die Notwendigkeit, verschiedene Effektstärkemaße zu verwenden, um Gruppen multiperspektivisch auf Differenzen hin zu untersuchen. Während zum Zweck der Vergleichbarkeit häufig standardisierte Effektstärkemaße Verwendung finden (Thompson 2013: 13), können Effektstärken im univariaten Fall auch als einfache Mittelwertdifferenz (eMD) in den Einheiten der AV angegeben werden, v.a. dann, wenn diese intrinsisch ist (Wilkinson & Task Force on Statistical Inference 1999; Keselman et al. 2008; Baguley 2009). Die in dieser Arbeit verwendeten Effektstärkemaße sind Tabelle 36 zu entnehmen.

Tabelle 36: Effektstärkemaße für den Gruppenvergleich zu t_0, t_1 und mittels *D*

KLASSISCHE EFFEKTSTÄRKEMAßE	ROBUSTE EFFEKTSTÄRKEMAßE
▪ D^2 ▪ Cohens *d* (bei Homoskedastizität) ▪ Glass' δ (bei Heteroskedastizität) ▪ Einfache M-Differenz: eMD	▪ Generalisiertes Cohens *d* (bei Homoskedastizität): d_t => *akp.effect(x,y,EQVAR=TRUE,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ Glass' δ (bei Heteroskedastizität): δ => *akp.effect(x,y,EQVAR=FALSE,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ Univariate explanatory measure of effect size: r_e => *yuenv2(x,y,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05)* ▪ 95%-KI für r_e => *ees.ci(x,y,SEED=T,nboot=2000,tr=0.05/0.1/0.2, alpha=0.05)* ▪ Einfache M_γ-Differenz: $eM_\gamma D$

Traditionelle Effektstärkemaße wie D^2 speziell für den T^2-Test oder Cohen's *d* (bei Homoskedastizität) bzw. Glass' δ (bei Heteroskedastizität) im Rahmen multipler t-Tests (Cohen 1988; Vacha-Haase & Thompson 2004; Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Baguley 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Thompson 2013: 14; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016) sind laut Vacha-Haase & Thompson (2004), Erceg-Hurn & Mirosevich (2008) bzw. Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) deshalb problematisch, weil fehlende Normalverteilung, Heteroskedastizität (nur bei *d*) bzw. Ausreißer falsche Effektstärken hervorrufen können. Ein von Wilcox (2017b, 2017c) vorgeschlagenes generalisiertes *d* (d_t) beruht auf M_γ und VAR_w und ist robust gegen Ausreißer, geht aber von Homoskedastizität aus. Liegt gemäß robustem Varianzvergleich mittels R-Funktion *comvar2* (Kapitel 5.3.2) Homoskedastizität vor, resultiert d_t, sonst δ[120]. Für die Interpretation können die Richtlinien von *d* bzw. δ (Cohen 1988) herangezogen werden, wonach d_t (δ) = 0,20 eine kleine, d_t (δ) = 0,50 eine mittlere und d_t (δ) = 0,80 eine große Effektstärke (M_γ-Differenz) andeutet. Die von Keselman et al. (2008) vorgeschlagene univariate exploratory measure of effect size (r_e) ist gegen Ausreißer und Heteroskedastizität robust. Bestimmt wird sie via R-Funktion *yuenv2*, die auf M_γ und VAR_w zurückgreift. Über die R-Funktion *ees.ci* wird das 95%-KI für $|r_e|$ bestimmt[121]: Bei r_e = |0,10| besteht ein schwacher, bei r_e = |0,30| ein moderater und bei r_e = |0,50| ein großer Effekt. Ein multivariates r_e wird von der R-Funktion *mulwmwv2* ausgegeben (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c; vgl. Cohen 1988). Während die traditionelle eMD aus der M-Differenz resultiert, geht die $eM_\gamma D$ auf die M_γ-Differenz zurück.

[120] Von den beiden ausgegebenen δ der R-Funktion wird das für die VG angegeben.

[121] *„A percentile bootstrap method is used, but modified so that if the p-value is greater than α when testing $H_0 : \mu_{t1} = \mu_{t2}$ with Yuen's method, the lower end of the 1 – α confidence interval is set equal to zero.“* (Wilcox 2017c: 180)

5.2.4 Robuste Auswertung der Entwicklung der UG und der VG von t_0 zu t_1

Die Analyse der Entwicklung der Auswertungsgrößen von t_0 zu t_1 erfolgt mittels zweiseitiger Hypothesentests über die Methoden (R-Funktionen) in Tabelle 37. Für die UG wird die H_1 ($H_{1.1}$ bis $H_{1.5}$) überprüft.

Tabelle 37: Hypothesentests für den Zeitvergleich von t_0 zu t_1 bei der UG und bei der VG

KLASSISCHE TESTS	ROBUSTE TESTS
▪ Multivariater Hotellings T^2-Test für abhängige Stichproben mit nachfolgenden univariaten Vergleichen bei signifikantem Testergebnis (alternativ: multiple univariate Vergleiche)	▪ Multiple univariate Tests bei γ = 0.05 / 0,10 / 0,20 => *rmmcp(x,con=0,tr=0.05/0.1/0.2,dif=T,hoch=T)* ▪ Multiple univariate Tests mit Bootstrap-t bei γ = 0,05 => *lindepbt(x,con=0,tr=0.05,nboot=2000,dif=T,SEED=T)* ▪ Multiple univariate Tests mit Perzentil-Bootstrapping bei γ = 0,10 / 0,20 sowie beim MOM => *rmmcppb(x,y,tr=0.1/0.2,con=0,est=tmean/mom, dif=T,grp=NA,nboot=2000,BA=F,hoch=T)* ▪ Multiple univariate Tests mit Perzentil-Bootstrapping beim MOM => *bootdpci(x,y,est=mom,nboot=2000,alpha=0.05, plotit=FALSE,dif=TRUE,BA=FALSE)*

Traditioneller Ansatzpunkt zur Untersuchung der Entwicklung von t_0 zu t_1 auf der Grundlage von *D*[122] ist der Hotellings T^2-Test für abhängige Stichproben als multivariate Erweiterung des t-Tests für abhängige Stichproben. Bei diesem T^2-Test sind die Proband/innen die Analyseebene und die zwischen ihnen bestehende Variabilität werden als a priori existierende Differenzen hingenommen. Die Teststärke ist höher als beim T^2-Test für unabhängige Stichproben und steigt mit zunehmender Gruppengröße (Huberty & Olejnik 2006; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Pituch & Stevens 2016). Nach Pituch & Stevens (2016) liegt eine vergleichbare Robustheit zum T^2-Test für unabhängige Stichproben vor. Dennoch können grobe Verletzungen zu progressive oder zu konservative Entscheidungen hervorrufen (Bortz & Schuster 2010). Bei signifikantem Testergebnis gilt die gleiche Vorgehensweise wie beim T^2-Test für unabhängige Stichproben (Huberty & Olejnik 2006; Pituch & Stevens 2016). In der Praxis werden auch hier alternativ multiple univariate *t*-Tests für abhängige Stichproben mit α-Fehler-Kontrolle durchgeführt. Nach Wilcox (2017a, 2017b) ist der T^2-Test für abhängige Stichproben, wie der für unabhängige, wegen der verwendeten traditionellen Lage-/Streuungsmaße nicht durchgängig robust. Wie beim Vergleich unabhängiger Testgruppen können auch beim Vergleich abhängiger Stichproben gemäß Wilcox (2017a, 2017b) anstelle eines vorausgehenden multivariaten Tests unmittelbar multiple univariate Kontraste mit α-Fehler-Kontrolle durchgeführt werden. Nachfolgende R-Funktionen werden zu diesem Zweck eingesetzt für den Zeitvergleich bei der UG und bei der VG[123]:

- Über die R-Funktion *rmmcp* werden multiple univariate Vergleiche auf der Basis von *D* bei γ = 0,05, γ = 0,10 und γ = 0,20 durchgeführt. Es wird dabei die Hypothese getestet, dass zwei M_γ gleich Null sind[124]. Die α-Fehler-Kontrolle erfolgt über den Ansatz von Hochberg. Eine Version mit Perzentil-

[122] Nach Pituch & Stevens (2016) sollte *D* als Grundlage für Varianzanalysen bei abhängigen Stichproben aus Reliabilitätsgründen nicht verwendet werden (vgl. Bortz & Döring 2006; Tabachnick & Fidell 2007). Die Autoren befürworten stattdessen Kovarianzanalysen mit den Prätestdaten als Kovariate, um eine höhere Teststärke sicherzustellen (vgl. Tabachnick & Fidell 2007). Dieser Sichtweise widersprechen Thomas & Zumbo (2012), die auf mathematischem Wege die Teststärke bei Messwiederholung belegen, sofern, wie im vorliegenden Fall, Testgruppen als Bezugseinheit miteinander verglichen werden. Auch Bortz & Döring (2006) befürworten den Einsatz von *D*. Gemäß Wilcox (2017a) führt *D* i.d.R. zu einer höheren Teststärke und zu einer besseren Kontrolle der Wahrscheinlichkeit eines α-Fehlers.

[123] Auf die nachfolgende Darstellung der multivariaten Tests bei fehlender univariater Signifikanz wird verzichtet, da dieser Fall nicht eingetreten ist.

[124] Mittels der R-Funktion *stein1.tr(x,del,alpha=0.05, pow=0.8,tr=0.05/0.1/0.2)* kann die benötigte Stichprobengröße für eine festgelegte Teststärke post hoc ermittelt werden. Der vorab festzulegende Wert für »del« bestimmt sich aus dem Produkt der winsorisierten SD (SD_w) von *D*, ermittelt über die R-Funktion *winsd(x,tr=0.05/0.1/0.2)*, und des über

Bootstrapping führt die R-Funktion *rmmcppb* bei γ = 0,10 und γ = 0,20 sowie bei Nutzung des MOM (bei $N > 80$) aus. Kontrolliert wird ebenso über den Ansatz von Hochberg. Die R-Funktion *lindepbt* nutzt den Bootstrap-t für γ = 0,05 und greift auf den Kontrollansatz nach Rom zurück.

- Auf der Grundlage von *D* vergleicht die R-Funktion *bootdpci* zwei Stichproben per MOM.

Einen detaillierten Einblick in die Entwicklung der gesamten Stichprobenwerteverteilung einer Testgruppe auf der Dezilebene im Bereich der einzelnen Auswertungsgrößen (univariate Ebene) ermöglicht die R-Funktion *Dqcomhd*[125]. Es wird auch hier das 95%-KI mittels Perzentil-Bootstrapping bestimmt, wobei die Funktion mit gebundenen Rängen umgehen kann (Wilcox 2017a, 2017b).

Für die Quantifizierung der inhaltlichen/praktischen Bedeutsamkeit signifikanter Gruppendifferenzen werden die Effektstärkemaße in Tabelle 38 ermittelt[126].

Tabelle 38: Effektstärkemaße für die Zeitvergleiche von t_0 zu t_1 bei der UG und bei der VG

KLASSISCHE EFFEKTSTÄRKEMAßE	ROBUSTE EFFEKTSTÄRKEMAßE
▪ Modifiziertes Cohens *d*: d_z ▪ Einfache M-Differenz: eMD	▪ Modifiziertes d_t *=> D.akp.effect(x,y=NULL,null.value=0,tr=0.05/0.1/0.2)* ▪ Univariate Explanatory Measure of Effect Size: r_e *=> yuendv2(x,y,tr=0.05/0.1/0.2,alpha=0.05)* ▪ Einfache M_γ-Differenz: eM_γD

Laut Volker (2006 in Larson-Hall 2010: 263) kann Cohens *d* auch bei abhängigen Stichproben eingesetzt werden. Eine modifizierte Variante wird von Bortz & Döring (2006) vorgeschlagen. Rasch et al. (2014a) stellen das Effektstärkemaß d_z vor. Nach Wilcox (2017c) ist die modifizierte Variante von *d* gegen fehlende Normalverteilung anfällig. Aufbauend auf dem Effektstärkemaß für den Vergleich unabhängiger Stichproben wird als robuste Alternative bei einer modifizierten Variante von d_t der M_γ und die SD_w von *D* als Berechnungsgrundlage verwendet (R-Funktion *D.akp.effect*). Die von der R-Funktion *yuendv2* berechnete heteroskedastische r_e beruht nicht auf *D*, sondern auf M_γ zu t_0 und zu t_1 (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Die eM_γD beruht hier auf der M_γ-Differenz bei *D*.

5.3 Robuste Auswertung der Fragebogendaten

Der überwiegende Teil der in den Fragebögen zur Erhebung der KVs eingesetzten Items enthält Antwortmöglichkeiten, die nach dem von Likert (1932) eingeführten Likert-Format gestaltet sind (Clason & Dormody 1994; Bortz & Döring 2006; Boone, Jr. & Boone 2012; Sullivan & Artino 2012). Da sich bei diesen nicht zweifelsfrei feststellen lässt, ob die Differenz zwischen Kategorien äquidistant ist, wird diesem Format oft ein ordinales Skalenniveau, obschon z.T. auch metrisches Niveau unterstellt wird (siehe zu der Kontroverse um das Wesen und die uneinheitliche Handhabung dieses Formats in Jamieson 2004; Sullivan & Artino 2012). Clason & Dormody (1994) gehen auf die Konfusion um das Likert-Antwortformat ein und lösen diese auf, indem sie eine Differenzierung zwischen einzelnen Items (Likert-type items) und Skalen mit mehreren Items (Likert scale) vornehmen (vgl. Carifio & Perla 2008). Den Autoren zufolge weisen einzelne Items ein ordinales Niveau auf, weshalb ordinale Kennwerte anzugeben und nicht parametrische Tests zu verwenden sind. In Anlehnung an Likert (1932) selbst

D.akp.effect errechneten robusten Effektstärkemaßes für *D*.

[125] *Dqcomhd(x,y,c(0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9),nboot=2000,SEED=T,na.rm=T)*

[126] Bei der Berechnung der Effektstärkemaße wird die CM_{vorw} von der CM_{mod} subtrahiert. Dies bedeutet, dass eine positive Effektstärke grundsätzlich andeutet, dass (und wie sehr) *D* zugunsten der CM_{mod} abweicht, d.h. inhaltlich liegt eine Verbesserung vor. Eine negative Effektstärke lässt umgekehrt darauf schließen, dass (und wie sehr) *D* zugunsten der CM_{vorw} abweicht, d.h. es handel sich inhaltlich um eine Verschlechterung.

kann gemäß Boone, Jr. & Boone (2012) bei Itemskalen mit mindestens vier bzw. gemäß Carifio & Perla (2008) mit wenigstens acht Items das Antwortverhalten zu einem einzigen metrischen Kennwert wie z.B. einer Summe oder $M_{(\gamma)}$ zusammengefasst und mit parametrischen Tests analysiert werden (vgl. Corder & Foreman 2009; Norman 2010). Diese Sichtweise wird übernommen, d.h. es wird zwischen Einzelitems und Itemskalen mit mindestens vier Items differenziert. Im Falle letzterer dient die Informationsbündelung in einem einzigen Kennwert dazu, die Ausprägung der latenten Variable in einem zusammenfassenden Sinne zu charakterisieren. Dies korrespondiert mit Likert (1932) und entspricht einem ungewichteten Mittelwertindex (Bortz & Döring 2006; Raithel 2008), der in dieser Arbeit als Skalenindex bezeichnet wird.

5.3.1 Robuste Kennwerte und Hypothesentests bei den nominalen bzw. ordinalen Items

Für alle nominalen und ordinalen Einzelitems werden die robusten Kennwerte ermittelt und robusten Hypothesentests durchgeführt, die in Tabelle 39 ihren klassischen Pendants gegenübergestellt sind.

Tabelle 39: Kennwerte und Hypothesentests bei nominalen bzw. ordinalen Einzelitems

KLASSISCHE KENNWERTE	ROBUSTE KENNWERTE
▪ Prozentuale Häufigkeiten ▪ Median	▪ Prozentuale Häufigkeiten ▪ Median
KLASSISCHE HYPOTHESENTESTS	**ROBUSTE HYPOTHESENTESTS**
▪ χ^2-Test auf Unabhängigkeit	▪ χ^2-Test auf Unabhängigkeit mit simuliertem *p*-Wert *=> disc2.chi.sq (x,y,simulate.p.value=T,B=2000)*
▪ Wilcoxon-Mann-Whitney-Test: U-Test	▪ Test nach Cliff *=> cidv2(x,y,alpha=0.05)* ▪ Test nach Brunner & Munzel *=> bmp(x,y,alpha=0.05)* ▪ Vergleich diskreter Antwortkategorien *=> binband(x,y,KMS=T,alpha=.05,ADJ.P=T, plotit=F, op=T,ADJ.CI=T)*

Traditionell werden für nominale Items prozentuale Häufigkeiten angegeben und Gruppenunterschiede per χ^2-Test auf Unabhängigkeit mit Perzentil-Bootstrapping bestimmt. Gemäß Wilcox (2017b, 2017c) steht der χ^2-Test in Verbindung mit der Normalverteilungsannahme. An seiner Stelle wird die R-Funktion *disc2.chi.sq* eingesetzt, mit deren Hilfe die H_0 identischer diskreter Stichprobenverteilungen getestet wird. Die Funktion gibt einen simulierten *p*-Wert aus, der von der Annahme einer (approximierten) χ^2-Verteilung unabhängig ist.

Für die Beschreibung der Stichprobenwerteverteilung bei ordinalen Items kommen traditionell ebenso prozentuale Häufigkeiten sowie der Median zum Einsatz. Gruppenvergleiche erfolgen mittels Mann-Whitney-U-Test bzw. Wilcoxon-Rangsummentest (Corder & Foreman 2009; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Brunner & Munzel 2013; Buskirk et al. 2013: 109ff.; Rasch et al. 2014b). Da der U- bzw. Rangsummentest gemäß Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) gegen gebundene Ränge und Heteroskedastizität anfällig sein kann, wird alternativ der Test nach Cliff (R-Funktion *cidv2*) bzw. der Test nach Brunner & Munzel (R-Funktion *bmp*) durchgeführt. Beide gelten als unempfindlich, obschon bei vielen gebundenen Rängen u.U. nur ersterer das nominelle Signifikanzniveau einhält. Liegt eine signifikante Differenz vor, wird von der R-Funktion *binband* mittels Wahrscheinlichkeitsfunktion analysiert, bei welcher diskreten Antwortkategorie ein signifikanter Unterschied im Antwortverhalten der Testgruppen konkret besteht. Die ausgegebenen *p*-Werte sind mit kritischen *p*-Werten zu vergleichen, die über den Kontrollansatz von Hochberg bestimmt werden (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c).

5.3.2 Robuste Kennwerte und Hypothesentests bei den metrischen Items und Skalenindices

Für Items und Skalenindices mit metrischem Niveau kommen die robusten Kennwerte aus Tabelle 34 zum Einsatz. Als robuste Hypothesentests (R-Funktionen) werden jene in Tabelle 40 verwendet.

Tabelle 40: Hypothesentests bei metrischen Items und Skalenindices

KLASSISCHE TESTS	ROBUSTE TESTS
▪ Kolmogorov-Smirnov-Test zur Prüfung auf Normalverteilung: KS-Test ▪ Levene-Test zur Prüfung auf Homoskedastizität bei unabhängigen Stichproben ▪ Student *t*-Test (bei Homoskedastizität) ▪ Welch *t*-Test (bei Heteroskedastizität)	▪ Varianzvergleich bei unabhängigen Stichproben mit 95%-KI => *comvar2(x,y,nboot=2000)* ▪ *t*-Tests für unabhängige Stichproben a.) γ = 0,05: *yuenbt(x,y,tr=0.05,alpha=0.05,nboot=2000)* b.) γ = 0,10: *yuenbt(x,y,tr=0.1,alpha=0.05,nboot=2000)* c.) γ = 0,20: *trimpb2(x,y,tr=0.2,alpha=0.05,nboot=2000)* d.) MOM: *pb2gen(x,y,alpha=0.05,nboot=2000,est=mom)*

Der Kolmogorov-Smirnov-Test (KS-Test) zur Prüfung auf Normalverteilung stellt einen traditionellen Eignungstest im Vorfeld weiterer Analysen dar. Allerdings wird sein Einsatz angesichts nachteiliger Eigenschaften auch beim traditionellen Auswertungsansatz hinterfragt (siehe hierzu in Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Larson-Hall 2010; Buskirk et al. 2013: 132; Dormann 2013; Jaccard 2013: 98f.; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016). Da beim robusten Auswertungsansatz keine Annahmen über eine Normalverteilung als Testvoraussetzung formuliert werden, existiert keine robuste Alternative zum KS-Test.

Ein traditioneller Ansatz für den Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben auf Varianzhomogenität ist der Levene-Test bzw. dessen Modifikation in Form des Brown-Forsythe-Tests (Bortz & Schuster 2010). Der Levene-Test gilt traditionell als weniger empfindlich gegenüber fehlende Normalverteilung (Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Jaccard 2013: 99; Pituch & Stevens 2016). Nach Erceg-Hurn & Mirosevich (2008) bzw. Jaccard (2013: 98f.) ist seine Teststärke generell von der Stichprobengröße abhängig, weshalb bei kleineren Stichproben oftmals existierende Varianzunterschiede nicht aufgedeckt und bei größeren Stichproben kleine Differenzen bereits als signifikant ausgewiesen werden (Field 2009; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Bei nicht normalverteilten Stichproben, v.a. bei starker Schiefe (Pituch & Stevens 2016), kann das nominelle Signifikanzniveau überschritten werden (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Jaccard 2013: 99; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Um einen Varianzvergleich bei ungleich großen bzw. nicht normalverteilten Stichproben durchzuführen, ohne das nominelle Signifikanzniveau zu gefährden und eine relativ hohe Teststärke zu erreichen, schlägt Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) die Verwendung der R-Funktion *comvar2* als robuste Alternative vor. Das erzeugte 95%-KI ist dabei so zu interpretieren, dass bei einer Abwesenheit des Wertes Null die H_0 gleicher Varianzen abzulehnen ist, d.h. es besteht Heteroskedastizität.

Für den Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben wird traditionell der *t*-Test nach Student eingesetzt, dessen Testannahmen und konstatierte Robustheit im Rahmen der Erläuterungen in Kapitel 5 dargestellt wurden, wobei eine Anpassung an heterogene Varianzen mittels *t*-Test nach Welch möglich ist (Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Raithel 2008; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Rasch et al. 2014a; Pituch & Stevens 2016). Die unzureichende Robustheit ist in Kapitel 5 gleichfalls dargestellt worden und betrifft den *t*-Test nach Welch bei verletzter Normalverteilungsannahme ebenso (Erceg-Hurn & Mirosevich 2008; Keselman et al. 2008; Field 2009; Larson-Hall 2010; Erceg-Hurn et al. 2013: 393f.; Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). In Anbetracht dessen werden in Anlehnung an Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) robuste *t*-Tests auf der Basis von M_γ bei γ = 0,05, γ = 0,10

und γ = 0,20 über die R-Funktionen *yuenbt* bzw. *trimpb2* sowie auf der Grundlage des MOM über die R-Funktion *pb2gen* durchgeführt.

5.4 Robuste Bestimmung des moderierenden Einflusses von KVs

Signifikante Gruppendifferenzen im Bereich der Auswertungsgrößen (ohne den CM-KPG) in der Intervention können u.U. nicht (nur) mit der UV zusammenhängen, sondern (auch) durch den moderierenden Einfluss von KVs hervorgerufen sein. Im Kontext von Forschungsfrage 3 wird daher explorativ bestimmt, inwiefern signifikante Gruppendifferenzen bei *D* mit dem moderierenden Einfluss von KVs einhergehen, um bei einem Ausschluss derartiger Einflüsse valide Aussagen über die differenzierte Wirkung der UV treffen zu können. Hierfür kommen (Ko-)Varianzanalysen zum Einsatz, deren Faktoren bzw. Kovariaten die KVs in Fragebogen A (ohne die Items zu Nachhaltigkeitsthematik, Arbeitsmedium und Concept Mapping)[127] in ihrer dispositionalen Ausprägung sowie die KVs in Fragebogen C in ihrer situationalen Ausprägung sind (Abbildung 26). Die KVs im Kontext von Fragebogen B sind vor dem Hintergrund der Fokussierung auf signifikante Gruppenunterschiede bei *D* nicht relevant.

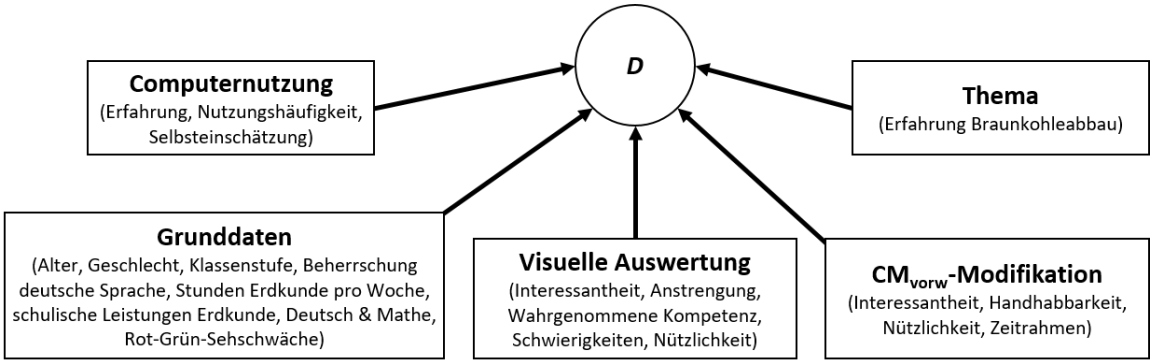


Abbildung 26: Für die (Ko-)Varianzanalysen relevante KVs in Fragebogen A und C (eigene Darstellung)

Mit Blick auf die Items in Fragebogen C ist zu beachten, dass diese retrospektiv ausgerichtet sind, da sie sich auf eine zuvor abgeschlossene Tätigkeit (visuelle Auswertung mit CM-Modifikation) beziehen. Field (2009) äußert Bedenken bezüglich der Verwendbarkeit von derart statistisch abhängigen Variablen als Kovariaten, die von Pituch & Stevens (2016) geteilt werden. Die Autoren sprechen sich tendenziell (Field 2009) bzw. unmittelbar (Pituch & Stevens 2016) dafür aus, derartige Variablen nicht als Kovariaten einzusetzen. Aufgrund ihrer inhaltlichen Relevanz und der Fülle der insgesamt potenziell einwirkenden KVs werden die Skalenindices in Fragebogen C dennoch – unter Berücksichtigung ihrer limitierten Aussagekraft – als Kovariaten hinzugezogen.

Im Zusammenhang mit den nominal/ordinal skalierten KVs wird eine robuste zweifaktorielle ANOVA über die beiden R-Funktionen in Tabelle 41 durchgeführt, die um eine ANOVA zur Bestimmung des Einflusses der in die Testgruppen geschachtelten Variable Schulklasse ergänzt sind.

[127] Grund hierfür sind die zu erwartenden Veränderungen durch die Methodentrainings (vgl. Kapitel 4), die dazu führen (können), dass der ermittelte statistische Zusammenhang nicht in einer Beziehung zur dispositionalen Ausprägung vor dem Methodentraining steht, sondern zu den zu erwartenden veränderten Ausprägungen danach.

Tabelle 41: Varianzanalytische Bestimmung des Einflusses nominaler bzw. ordinaler KVs

KLASSISCHE HYPOTHESENTESTS	ROBUSTE HYPOTHESENTESTS
▪ Mehrfaktorielle ANOVA mit nachfolgenden Kontrasten bei signifikantem Testergebnis	▪ Zweifaktorielle ANOVA bei γ = 0,20 *=> bbmcp(J,K,tr=0.2,alpha =0.05,grp=NA,op=F)* ▪ Zweifaktorielle ANOVA mit Perzentil-Bootstrapping bei γ = 0,20 *=> bbmcppb(J,K,x,est=tmean,JK=J*K,alpha=0.05, grp=c(1:JK),nboot=2000,bhop=T,SEED=T)*
▪ (Teil-)Hierarchische ANOVAs	▪ ANOVA für geschachtelte Faktoren bei γ = 0,20 *=> mcp.nestAP(x,tr=0.2)*

Traditionell werden Haupt- und Interaktionseffekte[128] von nominal bzw. ordinal skalierten Faktoren varianzanalytisch mittels einer mehrfaktoriellen ANOVA bestimmt, wobei sich die Effekte von mehr als drei Faktoren i.d.R. kaum noch interpretieren lassen und die benötigte Stichprobengröße mit zunehmender Anzahl der Faktoren bzw. Faktorstufen rasch ansteigt. In der Folge werden kleinere Modelle mit bis zu drei, nach inhaltlich-theoretischen Gesichtspunkten ausgewählten Faktoren vorgezogen (Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Rasch et al. 2014b; Pituch & Stevens 2016). Bei der einfaktoriellen ANOVA mit mehr als zwei Faktorstufen sowie bei der mehrfaktoriellen ist eine ausreichende Besetzung jeder Faktorstufenkombination mit Stichprobenwerten erforderlich (Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Pituch & Stevens 2016). In Anlehnung an die Darstellung in Kapitel 5 gilt die ANOVA traditionell als robust. Auf die Problematik ihrer eingeschränkten Robustheit gegenüber verletzten Testvoraussetzungen ist bereits zuvor eingegangen worden. Für die Untersuchung des Einflusses der nominal bzw. ordinal skalierten KVs wird eine robuste zweifaktorielle ANOVA über folgende R-Funktionen nach Wilcox (2017a, 2017b) durchgeführt[129]:

- Die R-Funktion *bbmcp* führt eine zweifaktorielle ANOVA aus, bei der Haupt- und Interaktionseffekt auf der Basis von M_γ bestimmt werden. Die Funktion lässt sich damit als eine Erweiterung von *lincon* bei mehrfaktoriellen Modellen verstehen. Das 95%-KI von M_γ ist bezüglich des α-Fehlers kontrolliert, während die Kontrolle der *p*-Werte über *p.adjust* manuell erfolgt.
- Eine zweifaktorielle Erweiterung von *linconpb*, die anhand von M_γ und Perzentil-Bootstrapping Haupt- und Interaktionseffekt bestimmt, stellt die R-Funktion *bbmcppb* dar. Hier ist das 95%-KI von M_γ über die Methode von Benjamini & Hochberg korrigiert. Es wird ein p_{krit} ausgegeben, mit dem die *p*-Werte zu vergleichen sind.

Alle Varianzanalysen werden bei γ = 0,20 durchgeführt. Interaktionsdiagramme werden mittels R-Funktion *interplot*[130] generiert. Weist eine Faktorstufenkombination zu wenige Stichprobenwerte (N < 5) auf, kann $M_{\gamma = 0,20}$ nicht bestimmt werden. Es wird dann die betreffende Faktorstufe mit einer angrenzenden inhaltlich zusammengefasst, wodurch die Informationsfülle abnimmt, während α und Teststärke besser kontrolliert werden können (persönliche Mitteilung von R. Wilcox).

---

[128] Als überzufällige Abweichungen des additiven Zusammenwirkens, das als interaktionsfreier Normalfall gilt, können verschiedene Formen von Effekten (ordinal, hybrid oder disordinal) zwischen Faktoren auftreten, die jeweils eigene Implikationen für die Interpretation der Haupteffekte jedes Faktors mit sich bringen (Bortz & Döring 2006; Bortz & Schuster 2010; Rasch et al. 2014b; Pituch & Stevens 2016).

[129] Eine Analyse auf der Ebene aller Auswertungsgrößen ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt (2018) nicht möglich, da aktuell kein robustes Gegenstück für eine traditionelle mehrfaktorielle MANOVA existiert.

[130] *interplot(J,K,x,locfun=tmean,tr=0.2,locvec=NULL,g1lev=NULL,g2lev=NULL,type=c("l","p","b"),xlab="Factor A", ylab="20% trimmed means",trace.label="Factor B")*

Die Variable Schulklasse, die wegen des quasi-experimentellen Designs in beide Gruppen geschachtelt ist, wird traditionell in (teil-)hierarchischen Varianzanalysen auf ihren moderierenden Einfluss hin untersucht (Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Bortz & Schuster 2010; Pituch & Stevens 2016). Mittels R-Funktion *mcp.nestAP* wird die Wirkung der Störvariable Schulkasse bei γ = 0,20 analysiert (Wilcox 2017a).

Hinsichtlich der metrisch skalierten KV Alter sowie den Skalenindices wird eine einfaktorielle ANCOVA über die R-Funktionen in Tabelle 42 durchgeführt.

Tabelle 42: Kovarianzanalytische Bestimmung des Einflusses metrischer KVs und Skalenindices

KLASSISCHE TESTS	ROBUSTE TESTS
▪ Einfaktorielle ANCOVA mit nachfolgenden Kontrasten bei signifikantem Testergebnis	▪ Bestimmung der Gestalt der Regressionslinien *=> runmean2g(x1,y1,x2,y2,fr=0.8,est=tmean,xlab="X", ylab="Y",SCAT=T,sm=F,nboot=40,SEED=T,xout=T, eout=F,outfun=out,LP=T,pch1="*",pch2="+")* *=> lplot2g(x1,y1,x2,y2,fr=0.8,est=tmean,xlab="X", ylab="Y",xout=T,eout=F,outfun=out)* ▪ ANCOVA bei nicht linearen Regressionslinien: *=> ancova(x1,y1,x,2,y2,fr1=0.8,fr2=0.8,tr=0.2,plotit=F, pts=NA,sm=F,xout=T,outfun=out,LP=T)* *=> ancovaWMW(x1,y1,x,2,y2,fr1=0.8,fr2=0.8,alpha= 0.05, plotit=F,pts=NA,sm=F,xout=T,outfun=out,LP=T, est=hd)* *=> ancdet(x1,y1,x,2,y2,fr1=0.8,fr2=0.8,tr=0.2,alpha= 0.05, plotit=F,plot.dif=F,pts=NA,sm=F,pr=T,yout=T, outfun=out,npts=25,p.crit=NULL,SEED=T,EST=F,SCAT=T)*

Bei der ANCOVA wird im Zuge einer vorgelagerten Regressionsanalyse die untersuchte AV um die lineare Beziehung zur metrisch skalierten Kovariate korrigiert, um die Wirkung der UV auf die AV nach der Korrektur besser varianzanalytisch nachweisen zu können (Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Pituch & Stevens 2016). Obschon theoretisch mehrere Kovariaten einbezogen werden können, betont Howell (2002 in Larson-Hall 2010: 361) die Problematik der Ergebnisinterpretation, während Huberty & Olejnik (2006) eine in der Praxis oftmals begrenzte zusätzliche Varianzaufklärung anführen. Eine korrigierte AV ist aus der Sicht von Tabachnick & Fidell (2007) wegen des artifiziellen Charakters der Korrektur mit Vorsicht zu interpretieren. Wie die ANOVA ist die ANCOVA an verschiedene Testvoraussetzungen gebunden. Bei der einfaktoriellen ANCOVA wird ein linearer bzw. paralleler Verlauf der Regressionslinien vorausgesetzt (Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Larson-Hall 2010; Dormann 2013; Pituch & Stevens 2016). Nach Wilcox (2017a) können Heteroskedastizität, fehlende Normalverteilung, Ausreißer sowie nicht nicht-lineare bzw. nicht parallel verlaufende Regressionslinien bei der traditionellen ANCOVA dazu führen, dass das nominelle Signifikanzniveau über- bzw. die nominelle Teststärke unterschritten wird. Traditionelle Methoden, die der Überprüfung der Einhaltung der Testvoraussetzungen dienen, können dem Autor zufolge (ebenso) unzufriedenstellend sein. Robuste Generalisierungen der ANCOVA mit bis zu mehreren Kovariaten sind in Wilcox (2017a) mathematisch hergeleitet und beschrieben. Für den Gruppenvergleich in dieser Arbeit ist zunächst von Bedeutung, die tatsächliche, d.h. aus den vorliegenden Gruppenwerten hervorgehende Gestalt der Regressionslinien zu ermitteln. Hierzu können die Gruppen entweder entlang der Regressionslinien punktuell miteinander verglichen werden oder es kann die H_0 getestet werden, dass sich beide Gruppen entlang des gesamten Verlaufs nicht voneinander unterscheiden. Bezüglich der punktuellen Analyse ist die Gestalt der Regressionslinien selbst von Bedeutung. In der offensten Variante ohne jegliche parametrische Annahmen über den Verlauf,

gepaart mit potenzieller Heteroskedastizität, wird sich der tatsächlichen Gestalt der Regressionslinien mithilfe des running interval smoother angenähert. Dieser ermittelt den Verlauf anhand von Gruppenwerten der Kovariate. Es wird die H_0 getestet, dass korrespondierende Lagemaße wie M_γ gleich sind. Vor diesem Hintergrund lässt sich der tatsächliche Verlauf der Regressionslinien mithilfe der folgenden R-Funktionen aus Wilcox (2017a) bestimmen und graphisch darstellen:

- Bei der R-Funktion *runmean2g* werden die über den running interval smoother initial bestimmten Regressionslinien im Rahmen eines speziellen nicht parametrischen Verfahrens (LOESS) geglättet. Bei *xout=TRUE* werden Ausreißer (leverage points) über MAD-M identifiziert und bei der graphischen Darstellung nicht visualisiert.
- Die R-Funktion *lplot2g* gleicht *runmean2g*, verwendet im Gegensatz zu dieser Funktion jedoch ein Glättungsverfahren, das von Cleveland (1979 in Wilcox 2017a) entwickelt wurde und als locally weighted scatterplot smoothing (LOWESS) bekannt ist.

Ausgehend von dem durch *runmean2g* bzw. *lplot2g* ermittelten Verlauf der Regressionslinien wird in Kapitel 6.3 erläutert, ob eine robuste ANCOVA unter der Annahme linearer oder nicht-linearer (gekrümmter) Regressionslinien durchgeführt wird; der Vorteil ersterer liegt bei einer etwas höheren Teststärke[131]. Bei gekrümmten Regressionslinien wird die ANCOVA ohne parametrische Annahme über die Gestalt der Regressionslinien und unter Zulassung von Heteroskedastizität durchgeführt. Es wird die H_0 getestet, dass Lagemaße wie M_γ bei den Gruppen gleich sind. Es finden folgende R-Funktionen aus Wilcox (2017a) hierfür Verwendung:

- Die R-Funktion *ancova* vergleicht M_γ z.T. mittels des running interval smoother. Die Regressionslinien beider Gruppen werden an fünf ausgewählten Stellen im Rahmen von robusten t-Tests miteinander verglichen. Ausreißer werden über MAD-M identifiziert und ausgeschlossen. Zur Erhöhung der Teststärke wird bei nicht linearen Regressionslinien mit fr=0,8 gerechnet. Für die α-Fehler-Kontrolle im Rahmen des 95%-KI kommen Herangehensweisen zum Einsatz, die ebenfalls im Kontext der ANOVA zuvor aufgeführt wurden. Die ausgegebenen *p*-Werte werden mittels *p.adjust* manuell angepasst.
- Die R-Funktion *ancovaWMW* ist ähnlich *ancova*, vergleicht die Gruppen allerdings „*in terms of the likelihood that a randomly sampled observation from the first group is less than a randomly sampled observation from the second group. This is done via Cliff´s method* […]*, which is an improvement on the Wilcoxon–Mann–Whitney test.*“ (Wilcox 2017a: 711f.). In diesem Kontext kommt der HDS zum Einsatz. Es wird jeweils der *p*-Wert mit dem p_{krit} verglichen.
- Bei der R-Funktion *ancdet* werden standardmäßig Regressionslinien anhand von robusten t-Tests an 25 Stellen miteinander verglichen. Ausreißer werden erneut mittels MAD-M identifiziert und entfernt. Das 95%-KI wird bezüglich α-Fehler angepasst, während der *p*-Wert mit dem zugehörigen p_{krit} zu vergleichen ist.

Für die Quantifizierung der inhaltlichen/praktischen Bedeutsamkeit von moderierenden Einflüssen nominaler bzw. ordinaler KVs werden die robusten Effektstärkemaße in Tabelle 43 verwendet.

[131] Auf die nachfolgende Darstellung der robusten ANCOVA bei linearen Regressionslinien wird verzichtet, da dieser Fall nicht eingetreten ist.

Tabelle 43: Effektstärkemaße für den moderierenden Einfluss nominaler und ordinaler KVs

KLASSISCHE EFFEKTSTÄRKEMAßE	ROBUSTE EFFEKTSTÄRKEMAßE
▪ Eta-Quadrat (einfaktoriell): η^2 ▪ Omega-Quadrat (einfaktoriell): ω^2 ▪ partielles Eta-Quadrat (mehrfaktoriell): η^2_p ▪ partielles Omega-Quadrat (mehrfaktoriell): ω^2_p	▪ Stärke der Haupteffekte bei der zweifaktoriellen ANOVA *=> ESmainMCP(J,K,x,tr=0.2,nboot=2000,SEED=T)* ▪ Stärke der Interaktionseffekte bei der zweifaktoriellen ANOVA *=> eslmcp(J,K,x,tr=0.2,nboot=2000,SEED=T)*

Traditionell wird bei einfaktoriellen univariaten Analysen Eta-Quadrat (η^2) verwendet, während bei mehrfaktoriellen Modellen partielles Eta-Quadrat (η^2_p) angegeben wird. Um diese Effektstärken über verschiedene Untersuchungen hinweg verallgemeinern zu können, finden Omega- (ω^2) und partielles Omega-Quadrat (ω^2_p) als korrigierte, unverzerrte Effektstärkemaße Verwendung (Vacha-Haase & Thompson 2004; Bortz & Döring 2006; Huberty & Olejnik 2006; Tabachnick & Fidell 2007; Field 2009; Bortz & Schuster 2010; Thompson 2013: 9; Rasch et al. 2014b; Pituch & Stevens 2016). Bei der robusten zweifaktoriellen ANOVA mittels *bbmcp* und *bbmcppb* wird die Stärke der Haupteffekte[132] über die R-Funktion *ESmainMCP* und die des Interaktionseffekts mittels *eslmcp* bestimmt. Es wird ferner r_e aus Kapitel 5.2.3 ermittelt, dessen genaue mathematische Berechnung in Wilcox (2017a) erläutert ist. Die Möglichkeit zur Bestimmung eines robusten Effektstärkemaßes für die robuste ANCOVA ist aktuell (2018) nicht gegeben.

[132] Da die Stärke des Haupteffekts des Faktors Testgruppe bereits im Zusammenhang mit dem Gruppenvergleich (vgl. Tabelle 36) bestimmt wird, wird *ESmainMCP* für den Haupteffekt des zweiten Faktors eingegrenzt.

6 Ergebnisse der robusten Auswertung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der CM-Daten (Kapitel 6.1) und Fragebogendaten (Kapitel 6.2) sowie zum moderierenden Einfluss von KVs (Kapitel 6.3) vorgestellt. Alle per RStudio ermittelten robusten Kennwerte und durchgeführten robusten Hypothesentests sind auf die dritte Nachkommastelle auf- oder abgerundet. Es wird den Interpretationsrichtlinien aus Wilkinson & Task Force on Statistical Inference (1999), Greenland et al. (2016) sowie Wasserstein & Lazar (2016) gefolgt. Soweit nicht anderweitig angegeben, gelten folgende Symboliken für die verschiedenen Signifikanzgrade: *** = $p \leq 0{,}001$ (*hochsignifikant*); ** = $p \leq 0{,}01$ (*sehr signifikant*); * = $p \leq 0{,}05$ (*signifikant*).

6.1 Ergebnisse zum Concept Mapping

Kapitel 6.1.1 stellt die Ergebnisse des robusten Interrater-Vergleichs vor. Es folgt in Kapitel 6.1.2.1 die Darstellung der robusten Kennwerte der Ausprägungen der einzelnen Auswertungsgrößen zu t_0 und t_1. Im Anschluss folgen die Testergebnisse für den Gruppenvergleich zu t_0 (Kapitel 6.1.2.2), für die absolute Entwicklung der UG (Kapitel 6.1.2.3) bzw. der VG (Kapitel 6.1.2.4) sowie für den Gruppenvergleich der relativen Entwicklung (Kapitel 6.1.2.5) und den zu t_1 (Kapitel 6.1.2.6).

6.1.1 Interrater-Vergleich

Die prozentuale Abweichung der beiden Rater im Bereich der 16 in Kapitel 5.2.1 für den Interrater-Vergleich ausgewählten Auswertungsgrößen, wie sie in der CM_{vorw} bzw. CM_{mod} bei der UG (Abbildung 27) und VG (Abbildung 28) vorliegen, ist in sechs Kategorien untereilt, die vom prozentualen Anteil identischer Auswertungen bis zu jenen mit > 20% Abweichung variieren. Die Auswertungsgrößen sind jeweils derart absteigend angeordnet, dass jene mit dem kleinsten Abweichungsgrad (größter Anteil an identischen Werten) zuoberst und jene mit der größten Abweichung (niedrigster Anteil an identischen Werten) zuunterst dargestellt sind.

Auf den ersten Blick zeigen die Abbildungen keinen allzu großen Unterschied bei den Bewertungen der beiden Testgruppen. Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass die Reihenfolge der Auswertungsgrößen variiert. Es zeigt sich ein Muster, dass die auf Korrespondenz bezogenen Auswertungsgrößen – aufgrund der Hilfestellung durch das Referenznetz – einen höheren Anteil an identischen Bewertungen aufweisen als die auf freier Bewertung beruhenden zur sonstigen oder fehlenden Systembedeutung[133]. Die K-$Anzahl_{ng}$ weist trotz der freien Bewertung eine geringere Abweichung zwischen den beiden Ratern auf, während auf der propositionalen Ebene (S-$Anzahl_{ng}$) größere Unterschiede bestehen, die aus den Herausforderungen bei der qualitativen Bewertung offen konstruierter/ modifizierter Sinneinheiten hervorgehen. Wie ferner zu erkennen ist, weisen tendenziell jene Auswertungsgrößen mit Bezug zu den Konzepten geringere Abweichungen auf als diejenigen bezogen auf die Sinneinheiten – auch dies geht aus dem o.g. Zusammenhang hervor.

[133] Die größeren Abweichungen hängen z.T. damit zusammen, dass die sys-Werte von ihrem absoluten Betrag her kleiner sind als die korres-Werte, sodass sich kleinere Abweichungen prozentual stärker auswirken.

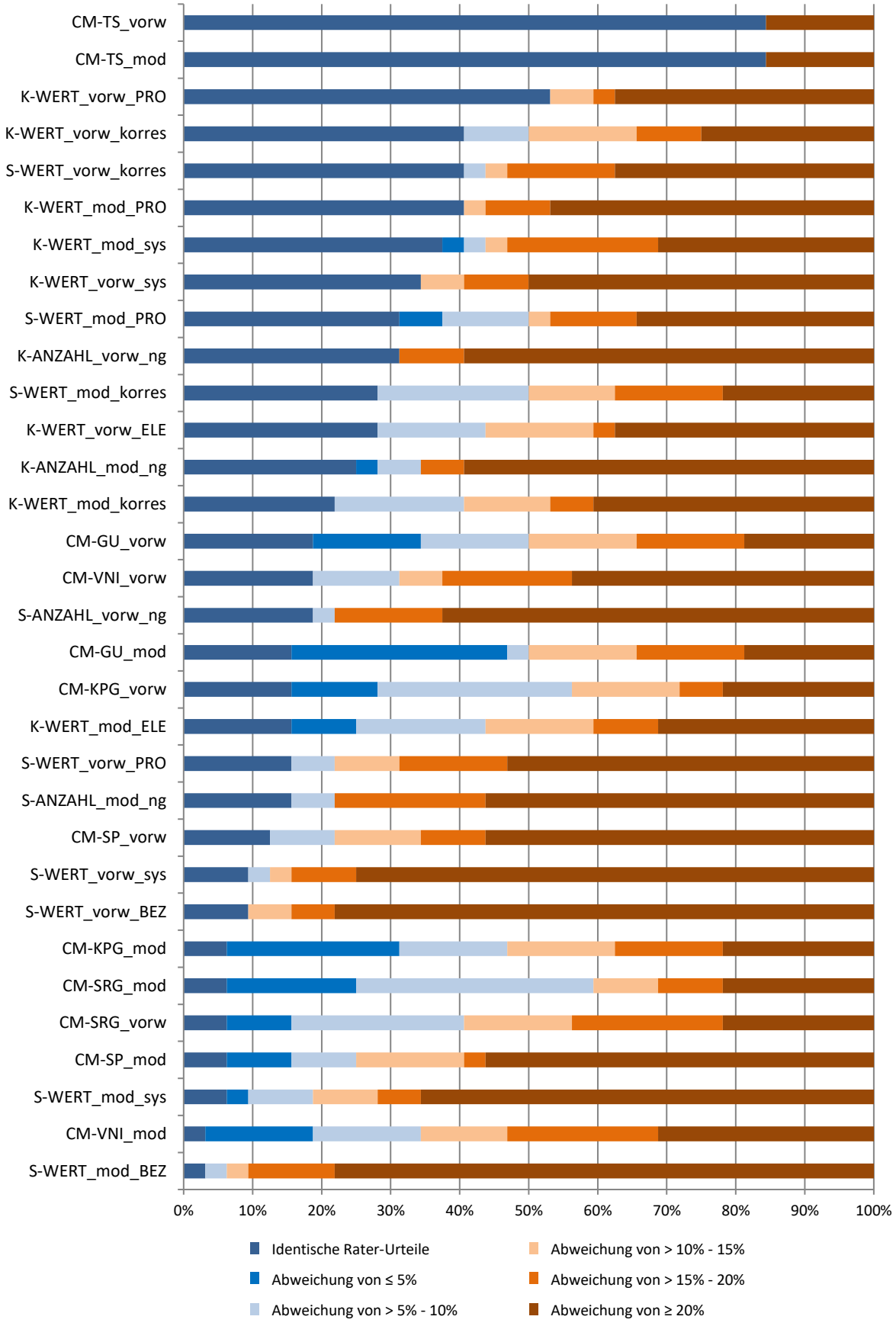


Abbildung 27: Prozentualer Anteil bestimmter Abweichungsgrade bei der CM-Auswertung der beiden Rater (UG)

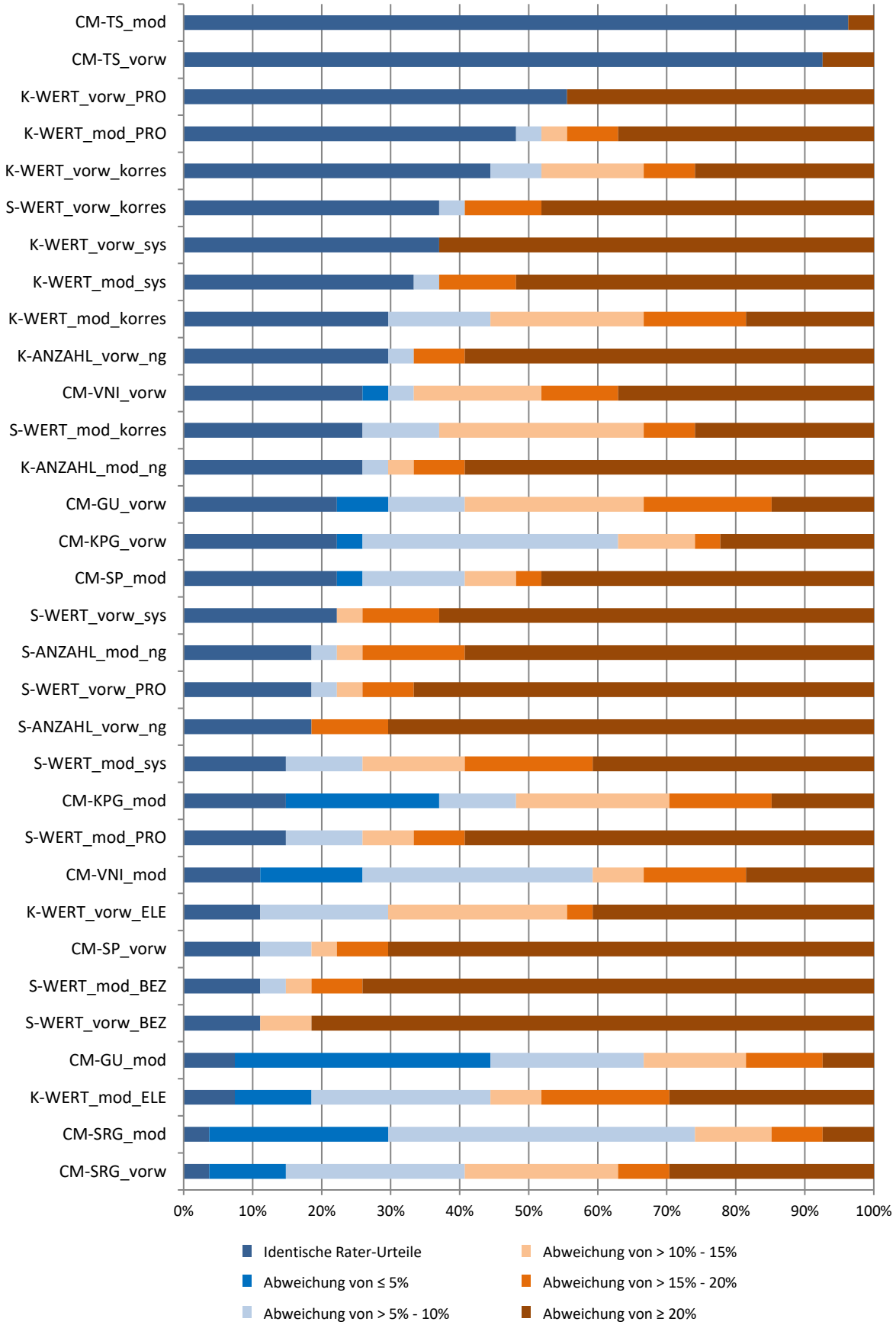


Abbildung 28: Prozentualer Anteil bestimmter Abweichungsgrade bei der CM-Auswertung der beiden Rater (VG)

Um die Erkenntnisse aus den beiden Abbildungen statistisch abzusichern, sind in Tabelle 44 für alle 16 Auswertungsgrößen κ (Interrater Agreement) und $ICC_{(w = 0,20)}$ (Interrater Reliabilität) angegeben: Es ist unter Bezugnahme auf Kapitel 2.3.2.2 zu beachten, dass κ den Fokus auf die absolute Übereinstimmung legt, während $ICC_{(w = 0,20)}$ die relative Zuverlässigkeit im Sinne einer gleichen Rangreihenfolge, ungeachtet absoluter Werte, angibt.

Tabelle 44: Interrater Agreement und Interrater Reliabilität der CM-Auswertungen

	$ICC_{(w = 0,20)}$ CM_{vorw} (κ CM_{vorw}) / $ICC_{(w = 0,20)}$ CM_{mod} (κ CM_{mod})	
Ausw.größe	**UG (*N* = 32)**	**VG (*N* = 27)**
K-$Anzahl_{ng}$	0,014 (*0,268***) / 0,003 (0,296***)	0,029 (0,161) / 0,013 (0,438***)
K-$Wert_{ELE}$	0,001 (0,449***) / 0,014 (0,493***)	0,020 (0,365***) / 0,009 (0,310***)
K-$Wert_{PRO}$	0,021 (0,661***) / 0,001 (0,567***)	0,002 (0,422***) / 0,013 (0,622***)
K-$Wert_{korres}$	0,035 (0,678***) / 0,031 (0,604 ***)	< 0,001 (*0,503****) / 0,001 (0,491***)
K-$Wert_{sys}$	0,014 (0,279**) / 0,006 (0,391***)	0,004 (*0,229**) / 0,013 (*0,253**)
S-$Anzahl_{ng}$	0,041 (0,444***) / 0,029 (0,452***)	0,112 (0,309***) / 0,038 (0,485***)
S-$Wert_{BEZ}$	0,384*** (0,253**) / 0,405*** (0,139)	0,219* (0,347***) / 0,254* (0,348***)
S-$Wert_{PRO}$	0,207* (0,328***) / 0,030 (0,421***)	0,258** (0,071) / 0,190* (0,075)
S-$Wert_{korres}$	0,004 (0,571***) / 0,001 (0,804***)	0,021 (0,663***) / 0,020 (0,394***)
S-$Wert_{sys}$	0,058 (0,158*) / 0,057 (0,249**)	0,054 (0,301***) / 0,019 (0,438***)
CM-SRG	0,030 (0,335***) / 0,099 (0,374***)	0,063 (0,386***) / 0,042 (0,483***)
CM-GU	0,005 (0,412***) / < 0,001 (0,567***)	0,001 (0,472***) / 0,019 (0,756***)
CM-SP	0,001 (0,373***) / 0,017 (0,453***)	0,002 (0,155) / 0,023 (0,396***)
CM-VNI	0,042 (<u>0,*033*</u>) / 0,064 (<u>0,*095*</u>)	0,082 (<u>-0,*166*</u>) / 0,044 (<u>-0,*111*</u>)
CM-KPG	0,014 (0,686***) / 0,009 (0,687***)	0,003 (0,343***) / 0,003 (0,483***)
	ICC CM_{vorw} (κ CM_{vorw}) / ICC CM_{mod} (κ CM_{mod})	
Ausw.größe	**UG (*N* = 32)**	**VG (*N* = 27)**
CM-TS	0,013 (-0,053) / 0,001 (0,231)	< 0,001 (-0,038) / 0,012 (0,654***)

Hinweis: Bei κ beruhen die kursiv geschriebenen Werte auf Quartilen und die kursiv-unterstrichenen auf Terzilen.

Tabelle 44 zeigt, dass $ICC_{(w = 0,20)}$ und κ bei beiden Gruppen bei allen Auswertungsgrößen, abgesehen von wenigen Ausnahmen, jeweils vergleichsweise nah beieinander liegen. Sowohl $ICC_{(w = 0,20)}$ als auch κ weisen (tendenziell) in die gleiche Richtung; dies korrespondiert mit Abbildung 27 und Abbildung 28. Eine Differenz von $\kappa \geq 0,200$ besteht bei K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$, S-$Wert_{mod\text{-}BEZ}$, S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$, S-$Wert_{mod\text{-}PRO}$, S-$Wert_{mod\text{-}korres}$, CM-TS_{mod}, CM-SP_{vorw}, CM-KPG_{vorw} und CM-KPG_{mod}. Hierfür sollten inhaltliche Zusammenhänge verantwortlich sein, die dazu führen, dass die Abweichung bei einer Auswertungsgröße mit der bei einer oder mehreren anderen einhergeht. Mit Blick auf den $ICC_{(w = 0,20)}$ zeigt sich, dass beide Rater beim S-$Wert_{BEZ}$ und S-$Wert_{PRO}$ sowohl bei der CM_{vorw} als auch bei der CM_{mod} jeweils (hoch) signifikant voneinander abweichen. Dies reflektiert die Schwierigkeiten der qualitativen Bewertung und hier v.a. der Charakterisierung von Sinneinheiten als Systembeziehungen oder -prozesse.

Eine in Tabelle 44 besonders auffällige Auswertungsgröße ist der CM-VNI, dessen niedrige und z.T. negative κ-Werte auf nur wenige absolut identische sowie hohe $ICC_{(w = 0,20)}$-Werte auf nur wenige relativ nah beieinander liegende Beurteilungen zurückzuführen sind; es zeigt sich im Scatterplot keine lineare Struktur. Als Ursache ist die Berechnungsgrundlage des CM-VNI zu nennen, in die die K-$Anzahl_{ELE}$ und K-$Anzahl_{PRO}$ sowie die S-$Anzahl_{BEZ}$ und S-$Anzahl_{PRO}$ eingehen (vgl. Kapitel 4.5.3): je stärker diese vier

zwischen den Ratern variieren, umso stärker variiert der resultierende CM-VNI. Bereits kleine Abweichungen können kumulativ zu größeren Abweichungen beim CM-VNI führen.

Wegen der Werteverteilung um die minimal mögliche Anzahl von einer Teilstruktur kann für den CM-TS kein $ICC_{(w = 0,20)}$ bestimmt werden, weshalb in Tabelle 44 die ICC-Werte auf der Basis der Rohwerte, d.h. ohne Winsorisierung, angegeben sind. Es sind Unterschiede zwischen den Ratern zu erkennen, die auf eine unterschiedliche Zuordnung zu einem Repräsentationsmuster und/oder auf die Anzahl an konstituierenden gewerteten Sinneinheiten (Konzepten) zurückzuführen sein kann.

Ungeachtet der o.g. Differenzen sind die $ICC_{(w = 0,20)}$- und die (konservativen) *κ*-Werte, zusammen mit den Erkenntnissen aus Abbildung 27 und Abbildung 28, insgesamt dahingehend aussagekräftig, dass sie ein akzeptables Maß an Interrater Reliabilität und ein hinreichendes Maß an Interrater Agreement erkennen lassen. Diese Schlussfolgerung gilt im Besonderen vor dem Hintergrund der offenen Konstruktions-/Modifikationsart in Verbindung mit der semi-strukturierten qualitativen Auswertungsweise, bei der die Reliabilität der darauf beruhenden Ergebnisse generell geringer ausfällt (vgl. Kapitel 2.3.2.2). Angesichts dieser Rahmenbedingungen erscheint die alleinige Auswertung der restlichen 75% der CMs durch den Autor dieser Arbeit, wenn auch mit Einschränkungen, vertretbar.

6.1.2 Ergebnisse des Concept Mapping

Nachfolgend werden in Kapitel 6.1.2.1 die robusten Kennwerte zu t_0 und t_1 vorgestellt. Es folgen die Testergebnisse für den Gruppenvergleich zu t_0 (Systemvorwissen) in Kapitel 6.1.2.2 und zur Entwicklung der UG (Kapitel 6.1.2.3) bzw. der VG (Kapitel 6.1.2.4). Gegenstand von Kapitel 6.1.2.5 sind die Testergebnisse für den Gruppenvergleich mittels *D*, gefolgt von den Testergebnissen für den Gruppenvergleich zu t_1 (modifiziertes Systemwissen) in Kapitel 6.1.2.6.

6.1.2.1 Robuste Kennwerte zu t_0 und t_1

Tabelle 45 gibt für beide Testgruppen die robusten Kennwerte der einzelnen Auswertungsgrößen zu t_0 (CM_{vorw}) wieder, die über die R-Funktionen aus Tabelle 34 ermittelt wurden.

Tabelle 45: Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_0 für beide Testgruppen

	UG (*N* = 127)	**VG (*N* = 108)**	**UG (*N* = 127)**	**VG (*N* = 108)**
	K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$		**K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	11,565 (0,431)	12,173 (0,498)	2,722 (0,314)	2,255 (0,254)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[10,739; 12,443]	[11,184; 13,102]	[2,122; 3,323]	[1,776; 2,765]
$VAR_{(w = 0,05)}$	19,129	21,704	10,143	5,656
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	11,553 (0,439)	12,136 (0,526)	2,476 (0,298)	2,136 (0,270)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[10,689; 12,398]	[11,102; 13,136]	[1,913; 3,058]	[1,636; 2,625]
$VAR_{(w = 0,10)}$	15,679	19,136	7,214	5,033
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	11,351 (0,431)	12,091 (0,574)	2,208 (0,290)	1,924 (0,323)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[10,623; 12,208]	[10,985; 13,258]	[1,688; 2,818]	[1,364; 2,485]
$VAR_{(w = 0,20)}$	8,495	12,812	3,839	4,053
Hu / Tu	11,29 / 11,02	12,08 / 12,15	2,31 / 2,07	2,10 / 2,03
Ha / An	11,20 / 11,01	12,16 / 12,15	2,37 / 2,07	2,21 / 2,03
MOM	11,162	12,148	2,316	2,257
Median	11,000	12,000	2,000	2,000
Ausreißer mBPR	6	0	1	1
Ausreißer MAD-M	28	0	10	3

	S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$		**S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	14,278 (0,698)	16,337 (0,878)	12,209 (0,774)	10,714 (0,666)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[12,800; 15,687]	[14,653; 18,122]	[10,765; 13,722]	[9,449; 12,000]
$VAR_{(w = 0,05)}$	50,153	67,436	61,570	38,848
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	14,039 (0,761)	16,057 (0,899)	12,019 (0,788)	10,614 (0,662)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[12,583; 15,495]	[14,318; 17,830]	[10,524; 13,573]	[9,318; 11,909]
$VAR_{(w = 0,10)}$	47,131	55,868	50,529	30,301
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	13,662 (0,772)	15,500 (0,966)	11,714 (0,805)	10,364 (0,730)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[12,234; 15,117]	[13,833; 17,394]	[10,182; 13,325]	[9,030; 11,788]
$VAR_{(w = 0,20)}$	27,266	36,289	29,602	20,735
Hu / Tu	13,84 / 13,80	15,59 / 15,27	11,79 / 11,64	10,33 / 10,00
Ha / An	14,01 / 13,80	15,76 / 15,26	11,95 / 11,64	10,36 / 9,99
MOM	14,270	15,837	12,192	10,194
Median	14,000	16,000	12,000	10,000
Ausreißer mBPR	0	2	1	0
Ausreißer MAD-M	1	4	2	5
	CM-SRG$_{vorw}$		**CM-GU$_{vorw}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	68,984 (1,765)	72,520 (1,908)	15,791 (0,585)	16,520 (0,650)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[65,506; 72,234]	[68,646; 76,023]	[14,687; 16,939]	[15,316; 17,765]
$VAR_{(w = 0,05)}$	320,312	318,540	35,213	36,940
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	69,377 (1,780)	73,425 (1,864)	15,689 (0,573)	16,489 (0,656)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[65,906; 72,754]	[69,450; 76,786]	[14,592; 16,835]	[15,227; 17,773]
$VAR_{(w = 0,10)}$	257,635	240,069	26,682	29,729
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	69,601 (1,774)	74,566 (1,947)	15,610 (0,611)	16,439 (0,668)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[65,039; 73,111]	[70,686; 77,847]	[14,532; 16,792]	[15,167; 17,682]
$VAR_{(w = 0,20)}$	143,819	147,385	17,089	17,361
Hu / Tu	69,52 / 70,44	74,66 / 76,07	15,63 / 15,42	16,40 / 16,18
Ha / An	69,66 / 70,48	74,42 / 76,13	15,64 / 15,41	16,42 / 16,17
MOM	70,011	75,408	15,667	16,190
Median	68,180	75,000	16,000	16,000
Ausreißer mBPR	7	1	2	6
Ausreißer MAD-M	5	9	4	3
	CM-TS$_{vorw}$		**CM-SP$_{vorw}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	1,070 (0,049)	1,000 (0,000)	42,774 (3,020)	47,296 (3,781)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[1,000; 1,165]	[1,000; 1,000]	[37,261; 48,626]	[40,347; 54,806]
$VAR_{(w = 0,05)}$	0,245	0,000	938,107	1250,681
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	1,010 (0,034)	1,000 (0,000)	40,893 (3,244)	45,170 (4,079)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[1,000; 1,078]	[1,000; 1,000]	[35,252; 47,184]	[37,955; 53,386]
$VAR_{(w = 0,10)}$	0,093	0,000	855,561	1149,982
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	1,000 (0,000)	1,000 (0,000)	36,948 (3,015)	40,561 (4,282)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[1,000; 1,000]	[1,000; 1,000]	[31,468; 43,766]	[33,530; 49,561]
$VAR_{(w = 0,20)}$	0,000	0,000	415,617	712,973
Hu / Tu	k.A.[a]	k.A.[a]	35,72 / 30,85	37,61 / 30,62
Ha / An			35,86 / 30,77	36,97 / 30,40
MOM	1,000	1,000	32,896	32,131
Median	1,000	1,000	35,000	35,000
Ausreißer mBPR	18	2	2	4
Ausreißer MAD-M	18	2	21	24

	CM-VNI$_{vorw}$		CM-KPG$_{vorw}$	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	2,234 (0,045)	2,281 (0,046)	14,899 (0,603)	15,150 (0,559)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[2,148; 2,325]	[2,190; 2,374]	[13,707; 16,053]	[14,123; 16,269]
$VAR_{(w = 0,05)}$	0,211	0,184	37,457	27,347
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	2,224 (0,045)	2,275 (0,049)	14,864 (0,633)	15,125 (0,575)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[2,143; 2,313]	[2,182; 2,364]	13,655; 16,061]	[14,081; 16,247
$VAR_{(w = 0,10)}$	0,167	0,164	32,571	22,880
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	2,218 (0,045)	2,256 (0,045)	14,832 (0,638)	15,227 (0,619)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[2,135; 2,297]	[2,168; 2,340]	[13,503; 16,099]	[14,003; 16,416]
$VAR_{(w = 0,20)}$	0,093	0,079	18,630	14,878
Hu / Tu	2,217 / 2,188	2,262 / 2,244	14,853 / 14,775	15,242 / 15,120
Ha / An	2,215 / 2,188	2,260 / 2,243	14,826 / 14,774	15,144 / 15,119
MOM	2,201	2,267	14,715	15,106
Median	2,250	2,280	15,160	15,800
Ausreißer mBPR	6	3	2	5
Ausreißer MAD-M	16	8	2	1

[a] Kann aufgrund der hochgradig zentralisierten Verteilung der Gruppenwerte um den Median nicht berechnet werden.

Die Kennwerte in Tabelle 45 geben einen Einblick in die Ausprägung der einzelnen Auswertungsgrößen, wie sie im Rahmen des in der CM_{vorw} zu t_0 konstruierten Systemvorwissens in UG bzw. in der VG (im getrimmten Mittel) vorliegen. Wie zu erkennen ist, zeigt die VG bei K-$Wert_{vorw\text{-}ELE}$, S-$Wert_{vorw\text{-}BEZ}$, CM-SRG_{vorw}, CM-GU_{vorw}, CM-SP_{vorw}, CM-VNI_{vorw} und CM-KPG_{vorw} eine höhere Ausprägung gegenüber der UG; zudem fällt der niedrigere CM-TS_{vorw} zugunsten der VG aus. Eine höhere Ausprägung zu t_0 seitens der UG liegt demgegenüber nur bei K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$ und S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$ vor.

Die ebenso über die R-Funktionen aus Tabelle 34 bestimmten robusten Kennwerte der einzelnen Auswertungsgrößen zu t_1 (CM_{mod}) sind in Tabelle 46 zusammengefasst.

Tabelle 46: Robuste Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_1 für beide Testgruppen

	UG (*N* = 127)	VG (*N* = 108)	UG (*N* = 127)	VG (*N* = 108)
	K-$Wert_{mod\text{-}ELE}$		K-$Wert_{mod\text{-}PRO}$	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	18,470 (0,691)	17,316 (0,601)	4,435 (0,466)	3,765 (0,356)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[17,183; 19,809]	[16,122; 18,480]	[3,626; 5,357]	[3,092; 4,500]
$VAR_{(w = 0,05)}$	49,110	31,608	22,356	11,079
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	18,456 (0,648)	17,318 (0,647)	4,126 (0,441)	3,614 (0,366)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[17,175; 19,748]	[16,080; 18,568]	[3,350; 5,039]	[2,920; 4,352]
$VAR_{(w = 0,10)}$	34,153	28,923	15,807	9,277
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	18,312 (0,675)	17,318 (0,736)	3,818 (0,447)	3,485 (0,418)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[16,987; 19,701]	[15,909; 18,727]	[3,039; 4,727]	[2,712 4,258]
$VAR_{(w = 0,20)}$	20,832	21,055	9,146	6,794
Hu / Tu	18,30 / 18,24	17,29 / 17,28	3,87 / 3,57	3,59 / 3,51
Ha / An	18,40 / 18,24	17,32 / 17,28	4,02 / 3,57	3,73 / 3,50
MOM	17,967	17,150	3,846	3,654
Median	18,000	17,000	4,000	3,000
Ausreißer mBPR	8	0	0	0
Ausreißer MAD-M	6	1	10	4

	S-Wert$_{mod-BEZ}$		**S-Wert$_{mod-PRO}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	19,739 (0,962)	22,000 (1,036)	24,096 (1,193)	20,490 (1,072)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[17,809; 21,774]	[20,061; 24,102]	[21,791; 26,383]	[18,531; 22,571]
$VAR_{(w = 0,05)}$	95,268	93,872	146,515	100,457
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	19,476 (0,962)	21,795 (1,112)	24,010 (1,249)	20,455 (1,098)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[17,553; 21,437]	[19,795; 23,955]	[21,592; 26,340]	[18,409; 22,614]
$VAR_{(w = 0,10)}$	75,277	85,528	126,731	83,277
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	19,091 (1,041)	21,636 (1,245)	23,740 (1,432)	20,212 (1,257)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[17,065; 21,065]	[19,394; 24,000]	[21,195; 26,390]	[18,000; 22,727]
$VAR_{(w = 0,20)}$	49,499	60,287	93,690	61,404
Hu / Tu	18,97 / 18,20	21,69 / 21,42	23,80 / 23,88	20,24 / 20,23
Ha / An	18,92 / 18,20	21,70 / 21,41	24,02 / 23,88	20,44 / 20,23
MOM	18,322	21,600	24,213	20,667
Median	18,000	22,000	18,000	22,000
Ausreißer mBPR	3	1	0	0
Ausreißer MAD-M	9	3	0	0
	CM-SRG$_{mod}$		**CM-GU$_{mod}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	67,114 (1,618)	70,213 (1,493)	25,426 (0,887)	25,133 (0,824)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[63,791; 70,091]	[67,073; 73,081]	[23,783; 27,148]	[23,592; 26,735]
$VAR_{(w = 0,05)}$	269,187	194,935	80,882	59,341
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	67,679 (1,583)	70,534 (1,525)	25,447 (0,900)	25,125 (0,815)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[64,369; 70,536]	[67,521; 73,471]	[23,738; 27,146]	[23,557; 26,739]
$VAR_{(w = 0,10)}$	203,673	160,711	65,900	45,934
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	68,087 (1,662)	71,296 (1,617)	25,442 (0,848)	24,939 (0,947)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[64,695; 71,198]	[68,045; 74,272]	[23,831 27,117]	[23,212; 26,848]
$VAR_{(w = 0,20)}$	126,231	101,623	32,902	34,863
Hu / Tu	68,017 / 68,860	71,406 / 72,152	25,40 / 25,39	25,07 / 25,05
Ha / An	67,978 / 68,865	71,205 / 72,177	25,36 / 25,40	25,12 / 25,05
MOM	68,078	71,361	25,246	25,157
Median	68,750	72,000	25,000	25,000
Ausreißer mBPR	1	0	2	0
Ausreißer MAD-M	5	5	9	0
	CM-TS$_{mod}$		**CM-SP$_{mod}$**	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	1,035 (0,027)	1,000 (0,000)	90,904 (5,412)	86,949 (5,464)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[1,000; 1,122]	[1,000; 1,020]	[80,496; 101,635]	[76,520; 97,918]
$VAR_{(w = 0,05)}$	0,073	0,000	3.012,977	2.611,308
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	1,000 (0,000)	1,000 (0,000)	90,087 (5,848)	85,852 (5,963)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[1,000; 1,039]	[1,000; 1,000]	[78,845; 101,544]	[74,693; 97,545]
$VAR_{(w = 0,10)}$	0,000	0,000	2.779,322	2.457,748
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	1,000 (0,000)	1,000 (0,000)	87,481 (6,787)	83,530 (6,530)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[1,000; 1,000]	[1,000; 1,000]	[75,221; 101,649]	[71,030; 97,439]
$VAR_{(w = 0,20)}$	0,000	0,000	2.105,871	1.658,065
Hu / Tu	k.A.[a]	k.A.[a]	89,41 / 89,38	84,23 / 85,12
Ha / An			90,87 / 89,39	86,45 / 85,14
MOM	1,000	1,000	91,286	88,778
Median	1,000	1,000	96,000	84,000
Ausreißer mBPR	13	3	1	0
Ausreißer MAD-M	13	3	1	0

	CM-VNI$_{mod}$		CM-KPG$_{mod}$	
$M_{(\gamma = 0,05)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,05)}$)	2,317 (0,048)	2,406 (0,048)	23,939 (0,894)	19,742 (0,617)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,05)}$]	[2,227; 2,411]	[2,313; 2,506]	[22,147; 25,728]	[18,531; 20,969]
$VAR_{(w = 0,05)}$	0,233	0,199	82,254	33,301
$M_{(\gamma = 0,10)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,10)}$)	2,312 (0,048)	2,409 (0,050)	24,003 (0,922)	19,734 (0,663)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,10)}$]	[2,220; 2,405]	[2,311; 2,503]	[22,190; 25,817]	[18,491; 21,041]
$VAR_{(w = 0,10)}$	0,189	0,173	69,026	30,413
$M_{(\gamma = 0,20)}$ ($SE_{(M\gamma = 0,20)}$)	2,298 (0,048)	2,407 (0,053)	23,963 (0,967)	19,739 (0,694)
[95%-$KI_{(M\gamma = 0,20)}$]	[2,200; 2,400]	[2,309; 2,512]	[22,074; 25,945]	[18,444; 21,054]
$VAR_{(w = 0,20)}$	0,106	0,107	42,753	18,714
Hu / Tu	2,294 / 2,277	2,412 / 2,392	23,956 / 23,997	19,737 / 19,746
Ha / An	2,303 / 2,276	2,406 / 2,390	23,986 / 23,994	19,722 / 19,745
MOM	2,289	2,375	23,633	19,556
Median	2,250	2,440	23,700	19,900
Ausreißer mBPR	8	4	0	0
Ausreißer MAD-M	6	4	1	1

[a] Kann aufgrund der hochgradig zentralisierten Verteilung der Gruppenwerte um den Median nicht berechnet werden.

Die Kennwerte in Tabelle 46 lassen die Ausprägung der einzelnen Auswertungsgrößen nach der Modifikation erkennen, wie sie in der CM_{mod} zu t_1 in UG bzw. in der VG (im getrimmten Mittel) vorliegen. Es zeigt sich dass, die VG bei S-$Wert_{mod\text{-}BEZ}$, CM-SRG_{mod} und CM-VNI_{mod} die höhere Ausprägung hat und der niedrigere CM-TS_{mod} zu ihren Gunsten ausfällt. Eine höhere Ausprägung zu t_1 besitzt die UG bei K-$Wert_{mod\text{-}ELE}$, K-$Wert_{mod\text{-}PRO}$, S-$Wert_{mod\text{-}PRO}$, CM-GU_{mod}, CM-SP_{mod} und CM-KPG_{mod}.

6.1.2.2 Gruppenvergleich zu t_0 (CM_{vorw})

Die in Tabelle 45 vorgestellten Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_0 sind univariat auf signifikante Differenzen zwischen den Testgruppen hin untersucht worden (zweiseitige Hypothesentests). Die Testergebnisse des Gruppenvergleichs zu t_0 (*p*-Wert und M_γ-Differenz mit 95%-KI) sind in Tabelle 47 mit α-Fehler-Kontrolle von oben nach unten für die R-Funktionen *lincon*, *linconbt*, *linconpb* und *pbmcp* angegeben. Eine positive M_γ-Differenz zeigt eine höhere Ausprägung seitens der UG, eine negative eine höhere seitens der VG.

Tabelle 47: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich zu t_0

	K-$Wert_{vorw\text{-}ELE}$	K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$	S-$Wert_{vorw\text{-}BEZ}$	S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$	CM-SRG_{vorw}[a]
γ = 0,05	*p* = 0,354 -0,608 [-1,898; 0,682]	*p* = 0,246 0,467 [-0,345; 1,258]	*p* = 0,066 -2,058 [-4,256; 0,139]	*p* = 0,142 1,494 [-0,505; 3,494]	*p* = 0,172 -3,536 [-8,625; 1,554]
γ = 0,10	*p* = 0,389 -0,583 [-1,915; 0,749]	*p* = 0,393 0,339 [-0,442; 1,121]	*p* = 0,084 -2,018 [-4,307; 0,271]	*p* = 0,168 1,406 [-0,596; 3,407]	*p* = 0,112 -4,048 [-9,057; 0,960]
γ = 0,20	*p* = 0,298 -0,740 [-2,143; 0,663]	*p* = 0,509 0,284 [-0,564; 1,131]	*p* = 0,135 -1,838 [-4,254; 0,579]	*p* = 0,211 1,351 [-0,774; 3,475]	*p* = 0,059 -4,964 [-10,110; 0,182]
γ = 0,05	*p* = 0,359 -0,608 [-1,902; 0,685]	*p* = 0,254 0,467 [-0,313; 1,246]	*p* = 0,063 -2,058 [-4,208; 0,091]	*p* = 0,157 1,494 [-0,566; 3,555]	*p* = 0,188 -3,536 [-8,674; 1,602]
γ = 0,10	*p* = 0,393 -0,583 [-0,864; 0,675]	*p* = 0,406 0,339 [-0,427; 1,105]	*p* = 0,083 -2,018 [-4,264; 0,228]	*p* = 0,182 1,406 [-0,678; 3,490]	*p* = 0,120 -4,048 [-9,076; 0,979]
γ = 0,20	*p* = 0,304 -0,740 [-2,149; 0,628]	*p* = 0,516 0,284 [-0,509; 1,141]	*p* = 0,109 -1838 [-4,126; 0,348]	*p* = 0,217 1,351 [-0,866; 3,407]	*p* = 0,055 -4,964 [-9,945; 0,070]
MOM	*p* = 0,201 -0,987 [-2,275; 0,421]	*p* = 0,828 0,059 [-0,547; 1,372]	*p* = 0,162 -1,567 [-5,072; 0,696]	*p* = 0,225 1,998 [-1,073; 3,937]	*p* = 0,037* -5,396 [-10,879; -0,452]

	CM-GU$_{vorw}$	CM-TS$_{vorw}$	CM-SP$_{vorw}$	CM-VNI$_{vorw}$	CM-KPG$_{vorw}$
γ = 0,05	*p* = 0,402 -0,729 [-2,441; 0,983]	*p* = 0,154 0,070 [-0,027; 0,166]	*p* = 0,348 -4,522 [-14,000; 4,956]	*p* = 0,462 -0,047 [-0,173; 0,079]	*p* = 0,759 -0,251 [-1,861; 1,360]
γ = 0,10	*p* = 0,353 -0,799 [-2,492; 0,893]	*p* = 0,771 0,010 [-0,056; 0,076]	*p* = 0,406 -4,277 [-14,406; 5,851]	*p* = 0,437 -0,051 [-0,180; 0,078]	*p* = 0,757 -20,61 [-1,924; 1,402]
γ = 0,20	*p* = 0,356 -0,829 [-2,599; 0,941]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,486 -3,613 [-13,849; 6,626]	*p* = 0,546 -0,038 [-0,163; 0,087]	*p* = 0,654 -0,395 [-2,132; 1,342]
γ = 0,05	*p* = 0,399 -0,729 [-2,411; 0,952]	*p* = 0,181 0,070 [-0,036; 0,175]	*p* = 0,338 -4,522 [-13,950; 4,906]	*p* = 0,456 -0,047 [-0,175; 0,084]	*p* = 0,757 -0,251 [-1,831; 1,330]
γ = 0,10	*p* = 0,361 -0,799 [-2,432; 0,834]	*p* = 0,774 0,010 [-∞; ∞]	*p* = 0,396 -4,277 [-14,406; 5,851]	*p* = 0,445 -0,051 [-0,183; 0,081]	*p* = 0,757 -0,261 [-1,919; 1,397]
γ = 0,20	*p* = 0,399 -0,829 [-2,455; 0,924]	*p* = 0,999 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,492 -3,613 [-14,279; 6,227]	*p* = 0,550 -0,038 [-0,156; 0,081]	*p* = 0,684 -0,395 [-2,078; 1,392]
MOM	*p* = 0,463 -0,524 [-2,496; 1,122]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,839 0,765 [-17,363; 11,634]	*p* = 0,448 -0,066 [-0,214; 0,106]	*p* = 0,756 -0,391 [-2,025; 1,421]

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,188, *p* = 0,168, *p* = 0,137, *p* = 0,188, *p* = 0,168, *p* = 0,137, *p* = 0,137

Wie die Ergebnisse in Tabelle 47 zeigen, wird lediglich von *pbmcp* eine signifikante M_γ-Differenz im Bereich des CM-SRG$_{vorw}$ angedeutet, die nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr gegeben ist.

Anstelle der traditionell post hoc bestimmten Teststärke ist in Tabelle 48 diejenige Gruppengröße angegeben, die unter Berücksichtigung der tatsächlichen Verteilungsform der Gruppenwerte bei den einzelnen Auswertungsgrößen zusätzlich benötigt wird, damit die in Tabelle 47 angegebenen 95%-KIs der R-Funktion *lincon* möglichst eng ausfallen (vgl. R-Funktion *hochberg* in Kapitel 5.2.3).

Tabelle 48: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Gruppenvergleich zu t_0

	K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$	K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$	S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$	CM-SRG$_{vorw}$
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	0	0	115	170	1.416
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	0	0	159	179	1.433
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	0	0	165	190	1.410
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	0	0	217	80	1.426
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	8	0	231	76	1.345
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	29	0	280	114	1.467
	CM-GU$_{vorw}$	**CM-TS$_{vorw}$**	**CM-SP$_{vorw}$**	**CM-VNI$_{vorw}$**	**CM-KPG$_{vorw}$**
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	43	0	4.327	0	54
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	35	0	5.051	0	71
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	56	0	4.313	0	73
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	70	0	5.830	0	24
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	72	0	6.851	0	31
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	78	0	7.508	0	51

Die von *hochberg* ermittelten Werte deuten darauf hin, dass die Verteilung der Gruppenwerte beim CM-SRG$_{vorw}$ und v.a. beim CM-SP$_{vorw}$ eine große Anzahl an weiteren Proband/innen bei beiden Testgruppen erforderlich macht; folglich sind die von *lincon* in Tabelle 47 ausgegebenen 95%-KIs nicht ausreichend eng und die Konfidenz in ihre Genauigkeit gering. Ausgehend von den Eigenschaften der anderen Verteilungen ist für S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$, S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$, CM-GU$_{vorw}$ und CM-KPG$_{vorw}$ eine mitunter größere Anzahl an weiteren Proband/innen nötig, sodass die 95%-KIs keine ausreichende Enge

besitzen und die Konfidenz gering(er) ist. Demgegenüber sind beim K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$, K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$, CM-TS$_{vorw}$ und CM-VNI$_{vorw}$ keine weiteren Proband/innen notwendig, weshalb die von *lincon* ermittelten 95%-KIs hier ausreichend eng und die diesbezügliche Konfidenz jeweils hoch ist.

In Tabelle 49 ist als unstandardisiertes Effektstärkemaß die eM$_{\gamma}$D angegeben, wobei positive Werte zugunsten der UG und negative Werte zugunsten der VG ausfallen. Als standardisiertes Effektstärkemaß dient d_t bzw. δ (*akp.effect*) sowie r_e (*yuenv2*) mit 95%-KI (*ees.ci*). Das 95%-KI des robusten Varianzvergleichs (95%-KI V.v.) via *comvar2* ermöglicht die Feststellung, ob d_t (Wert Null im KI enthalten) oder δ (Wert Null nicht im KI enthalten) als Effektstärkemaß heranzuziehen ist (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c).

Tabelle 49: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs zu t$_0$

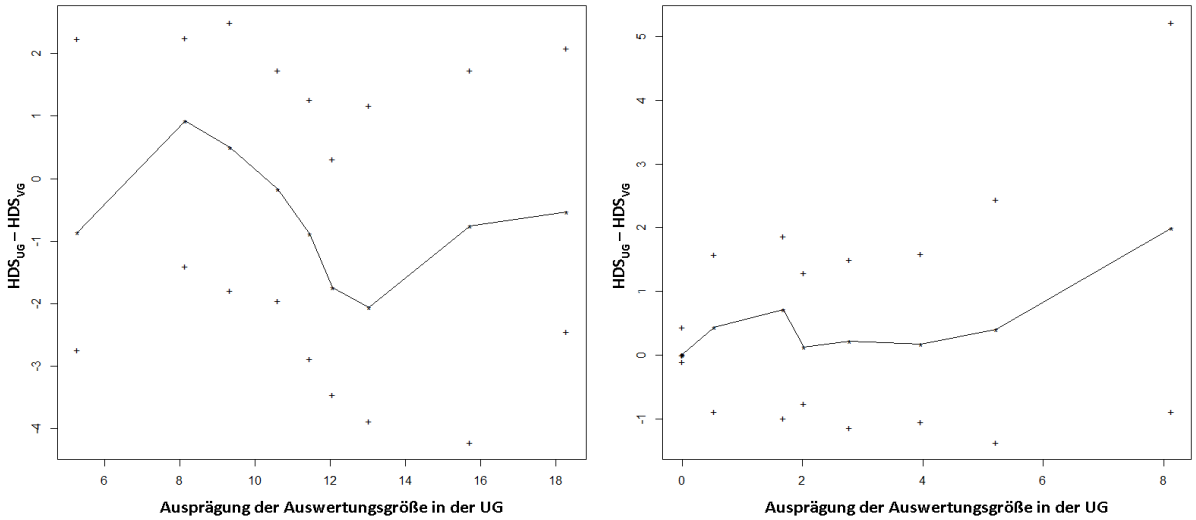
	K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$	**K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$**	**S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$**	**S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$**	**CM-SRG$_{vorw}$**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	-0,608	0,467	-2,059	1,495	-3,536
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	-0,508	0,340	-2,018	1,405	-4,048
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	-0,740	0,284	-1,838	1,350	-4,965
95%-KI V.v.	-9,128; 7,894	-1,101; 15,181	-54,992; 4,302	2,783; 44,840	-150,348; 176,194
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	0,123	0,150	0,246	δ = 0,219	0,180
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	0,116	0,112	0,232	δ = 0,210	0,211
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	0,147	0,092	0,210	δ = 0,190	0,264
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,081 [0,000; 0,251]	0,111 [0,000; 0,286]	0,176 [0,000; 0,337]	0,141 [0,000; 0,304]	0,131 [0,000; 0,298]
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,079 [0,000; 0,252]	0,085 [0,000; 0,260]	0,167 [0,000; 0,327]	0,133 [0,000; 0,303]	0,152 [0,000; 0,321]
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,106 [0,000; 0,274]	0,066 [0,000; 0,246]	0,156 [0,000; 0,332]	0,129 [0,000; 0,302]	0,186 [0,000; 0,358]

	CM-GU$_{vorw}$	**CM-TS$_{vorw}$**	**CM-SP$_{vorw}$**	**CM-VNI$_{vorw}$**	**CM-KPG$_{vorw}$**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	-0,729	0,070	-40,522	-0,047	-0,251
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	-0,800	0,010	-40,277	-0,051	-0,261
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	-0,829	0,000	-30,613	-0,038	-0,395
95%-KI V.v.	-15,166; 17,831	0,120; 0,553	-813,854; 122,627	-0,089; 0,224	-2,073; 25,960
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	0,111	δ = ∞	0,125	0,096	-0,040
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	0,124	δ = ∞	0,112	0,103	-0,041
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	0,128	δ = ∞	0,099	0,083	-0,062
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,075 [0,000; 0,242]	k.A. [k.A.]	0,085 [0,000; 0,258]	0,066 [0,000; 0,242]	0,029 [0,000; 0,197]
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,085 [0,000; 0,251]	k.A. [k.A.]	0,078 [0,000; 0,256]	0,073 [0,000; 0,248]	0,030 [0,000; 0,200]
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,086 [0,000; 0,247]	k.A. [k.A.]	0,066 [0,000; 0,245]	0,061 [0,000; 0,254]	0,002 [0,000; 0,212]

Die eM$_{\gamma}$D lässt erkennen, dass K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$, S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$, CM-SRG$_{vorw}$, CM-GU$_{vorw}$, CM-SP$_{vorw}$, CM-VNI$_{vorw}$ und CM-KPG$_{vorw}$ zugunsten der VG ausfallen (negativer Wert). Dies gilt ebenso für den positiven Wert beim CM-TS$_{vorw}$, der inhaltlich entgegengesetzt zu interpretieren ist. Nur K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ und S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ sind bei der UG höher ausgeprägt (positiver Wert). Beim S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$, S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ und CM-SP$_{vorw}$ beträgt die Differenz jeweils mehr als 1 Punkt. Der CM-SRG$_{vorw}$ deutet einen Unterschied von bis zu 5 Prozentpunkten bei eM$_{\gamma}$D an. Die beiden standardisierten Effektstärkemaße lassen jeweils schwache Effekte erkennen, wobei auch hier die Effekte beim S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$, S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ und CM-SRG$_{vorw}$ die größte Stärke aufweisen.

Die Erkenntnisse zum univariaten Gruppenvergleich beruhen auf der M_{γ}-Differenz. Um ausführlichere Informationen über die gesamte Werteverteilung in den Gruppen zu erhalten, sind in den nachfolgenden Abbildungen die Ergebnisse des univariaten Gruppenvergleichs auf der Dezilebene (*qcomhd*) graphisch wie tabellarisch dargestellt. In beiden Gruppen sind die Proband/innen nach der Höhe ihrer Werte bei den Auswertungsgrößen aufsteigend angeordnet, d.h. die Proband/innen mit den niedrigsten Werten befinden sich im 10%-Dezil und die mit den höchsten Werten im 90%-Dezil. Die ungetrimmten Werteverteilungen in beiden Gruppen sind im Rahmen des HDS miteinander verglichen (vgl. Kapitel 5.2.3), wobei jeweils der HDS-Wert für ein Dezil der VG (HDS_{VG}) vom HDS-Wert für das gleiche Dezil der UG (HDS_{UG}) subtrahiert wird. Dies bedeutet, dass eine positive Differenz einen höheren HDS-Wert bei der UG andeutet, wohingegen eine negative Differenz einen höheren HDS-Wert bei der VG für das betreffende Dezil anzeigt. Die genaue Ausprägung der Differenz kann der tabellarischen Darstellungsform in der Spalte »HDS_{UG} – HDS_{VG}« zusammen mit dem 95%-KI und dem *p*-Wert[134] entnommen werden. In der graphischen Form ist die Differenz der Y-Achse zu entnehmen, wobei die Dezile über das Symbol »x« dargestellt sind. Ein »x« deutet jeweils die Lage eines Dezils in Relation zur Dimension der X-Achse an, auf der die Ausprägung der Werte in der UG in den Einheiten der jeweiligen Auswertungsgröße aufgetragen ist. Alle Dezile verlaufen auf der X-Achse aufsteigend von links nach rechts. Die Differenz der HDS-Werte zwischen den Gruppen (Y-Achse) ist in Relation zur Ausprägung der Auswertungsgröße in der UG (X-Achse) aufgetragen. Die »x« sind über eine durchgezogene Linie miteinander verbunden, die auf einer Interpolation beruht. Liegen zwei »x« mit den zu ihnen gehörenden Intervallen auf der X-Achse eng beieinander, bedeutet dies, dass die Dezile in den Einheiten der Auswertungsgröße eng beieinanderliegenden, d.h. dass sie fast den gleichen Einheitenwert besitzen (siehe z.B. das 40%- und 50%-Dezil beim $K\text{-}Wert_{vorw\text{-}PRO}$). Sind sie umgekehrt weit auseinander, beschreibt dies eine Konstellation, bei der sie durch mehrere Einheitenwerte der X-Achse voneinander getrennt sind (siehe z.B. das 80%- und 90%-Dezil beim $K\text{-}Wert_{vorw\text{-}PRO}$). Inwiefern die Differenz selbst zugunsten einer der beiden Gruppen ausgeprägt ist, ergibt sich aus der relativen Lage eines Dezils zum Nullwert auf der Y-Achse. Befindet sich ein »x« oberhalb des Nullwerts (positive Werte auf der Y-Achse), ist die Differenz zugunsten der UG größer, d.h. bei diesem Dezil zeigt die UG eine um den Betrag der Differenz zum Nullwert der Y-Achse größere Ausprägung. Liegt ein »x« unter dem Nullwert (negative Werte der Y-Achse), gilt das Gleiche in Bezug auf die VG. Das zu jedem Dezil gehörende 95%-KI ist durch zwei übereinanderliegende »+« markiert. Je enger zwei übereinanderliegende »+« angeordnet sind, umso enger ist das 95%-KI des betreffenden Dezils ausgeprägt. Sind zwei vertikal angeordnete »+« weit voneinander entfernt, ist das Intervall umgekehrt groß.

[134] Die *p*-Werte sind mit einem kritischen *p*-Wert (p_{krit}) zu vergleichen, der von *qcomhd* ermittelt wird. Signifikant sind *p*-Werte erst dann, wenn $p \leq p_{krit} \leq 0{,}05$ (Wilcox 2017a, 2017b, 2017c). Für $p \leq 0{,}05$, die nicht als signifikant markiert sind, ist zur besseren Nachvollziehbarkeit der betreffende p_{krit} mit angegeben.

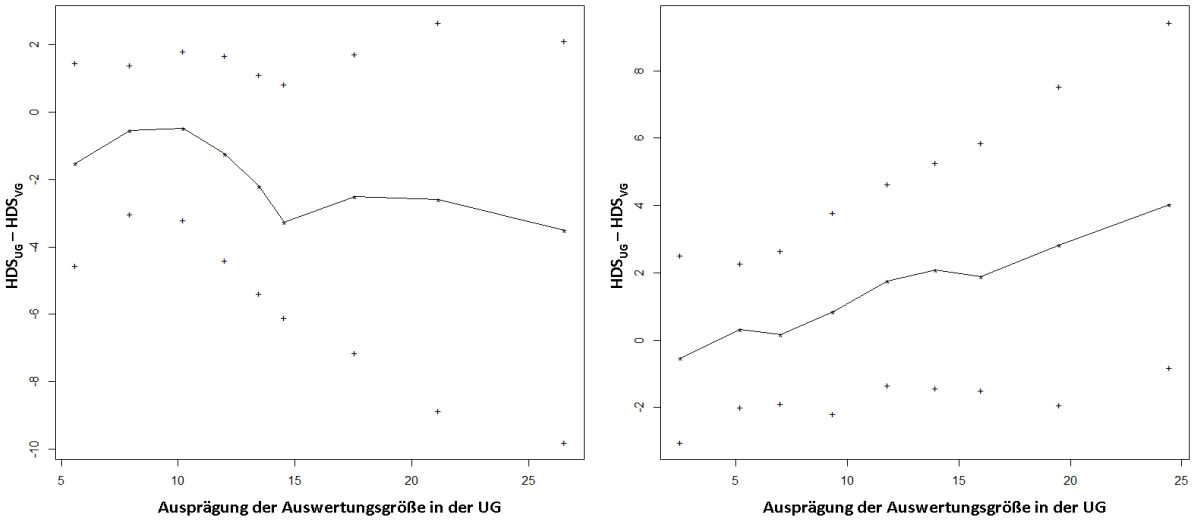


Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$				Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,539	-2,448; 2,085	0,610	90%	1,994	-0,887; 5,220	0,080
80%	-0,752	-4,217; 1,732	0,481	80%	0,405	-1,370; 2,446	0,632
70%	-2.058	-3,884; 1,167	0,044[a]	70%	0,168	-1,050; 1,584	0,718
60%	-1.748	-3,463; 0,306	0,019[b]	60%	0,219	-1,143; 1,496	0,797
50%	-0,884	-2,882; 1,258	0,230	50%	0,126	-0,767; 1,290	0,553
40%	-0,173	-1,959; 1,729	0,792	40%	0,717	-0,997; 1,864	0,274
30%	0,497	-1,792; 2,494	0,552	30%	0,442	-0,895; 1,600	0,318
20%	0,927	-1,406; 2,245	0,236	20%	$4{,}757e^{-03}$	-0,102; 0,436	0,412
10%	-0,861	-2,743; 2,231	0,550	10%	$1{,}897e^{-08}$	$-2{,}635e^{-05}$; 0,001	0,493

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,006

Abbildung 29: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ zu t_0

Der Dezilvergleich in Abbildung 29 zeigt, dass die Proband/innen der UG im 20%- bzw. 30%-Dezil des K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$ 0,927 bzw. 0,497 Punkte mehr erreicht haben als die der VG. Im 10%-Dezil sowie in allen Dezilen oberhalb des 30%-Dezils haben umgekehrt die Proband/innen der VG bis zu 2,058 Punkte mehr erreicht. Beim K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ zeigen die Proband/innen der UG in allen Dezilen durchgehend höhere Werte. In den beiden untersten Dezilen zeigt sich dabei nur eine minimale Differenz. Zwischen dem 30%- und 80%-Dezil beträgt der Unterschied 0,168 – 0,717 Punkte. Die Differenz im 90%-Dezil, d.h. bei jenen Proband/innen mit den meisten Punkten, liegt bei 1,994 Punkte. Es liegt weder bei den Dezilen des K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$, noch bei denen des K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ Signifikanz vor.

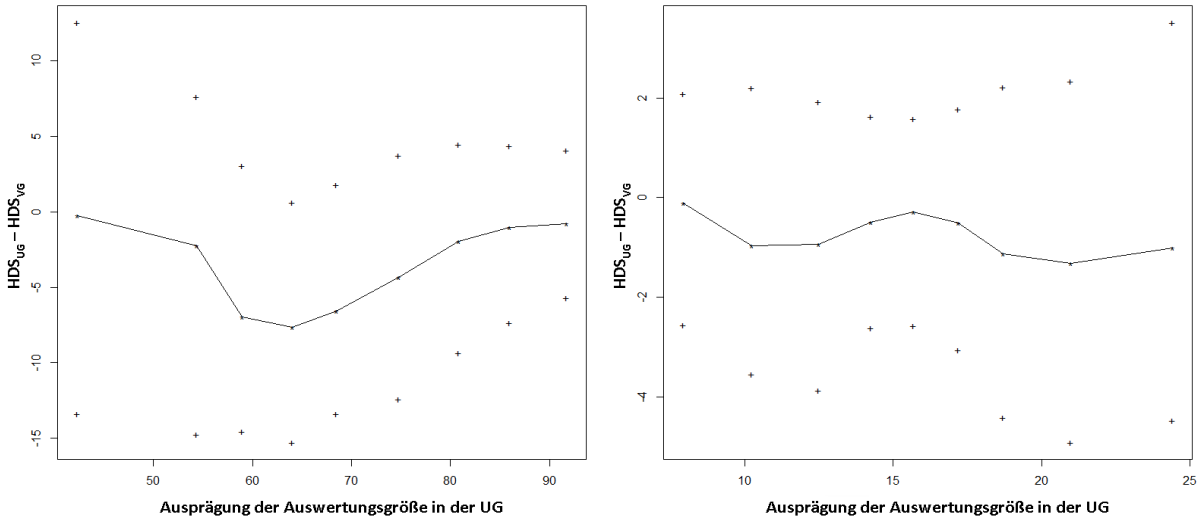


Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$				Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-3,503	-9,799; 2,122	0,103	90%	4,029	-0,808; 9,428	0,029[a]
80%	-2,595	-8,876; 2,662	0,199	80%	2,817	-1,930; 7,526	0,146
70%	-2,513	-7,149; 1,727	0,134	70%	1,883	-1,480; 5,862	0,161
60%	-3,268	-6,105; 0,827	0,023[a]	60%	2,096	-1,423; 5,273	0,122
50%	-2,195	-5,375; 1,122	0,060	50%	1,759	-1,334; 4,628	0,155
40%	-1,249	-4,393; 1,675	0,288	40%	0,834	-2,183; 3,774	0,492
30%	-0,471	-3,207; 1,809	0,708	30%	0,168	-1,876; 2,652	0,846
20%	-0,542	-3,017; 1,405	0,432	20%	0,324	-1,994; 2,275	0,810
10%	-1,520	-4,541; 1,466	0,195	10%	-0,537	-3,031; 2,510	0,713

p_{krit}: [a] 0,006 p_{krit}: [a] 0,006

Abbildung 30: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ zu t_0

Der in Abbildung 30 dargestellte Vergleich lässt erkennen, dass die VG beim S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ in allen Dezilen jeweils eine höhere Punktezahl aufweist als die UG. Die absolute Differenz schwankt zwischen 0,471 und 3,503 Punkten. Es fällt auf, dass die Differenz bei den Proband/innen mit der niedrigsten Punktezahl (10%-Dezil) größer ist als bei denen, mit den nächsthöheren Punktezahlen (20%- bis 40%-Dezil). In der oberen Hälfte der Dezile liegt die Differenz zwischen 2,195 und 3,503 Punkten. Ein umgekehrtes Bild zeigt sich beim S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$, bei dem ab dem 20%-Dezil aufwärts eine durchweg höhere Punktezahl (von bis zu 4,029 Punkten beim 90%-Dezil) von den Proband/innen der UG erreicht wurde. Leidglich das 10%-Dezil fällt zugunsten der VG aus, d.h. von den Proband/innen mit dem niedrigsten S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ haben die aus der VG 0,537 Punkte mehr als die aus der UG. Die beschriebenen Differenzen beim S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ sind alle nicht signifikant.

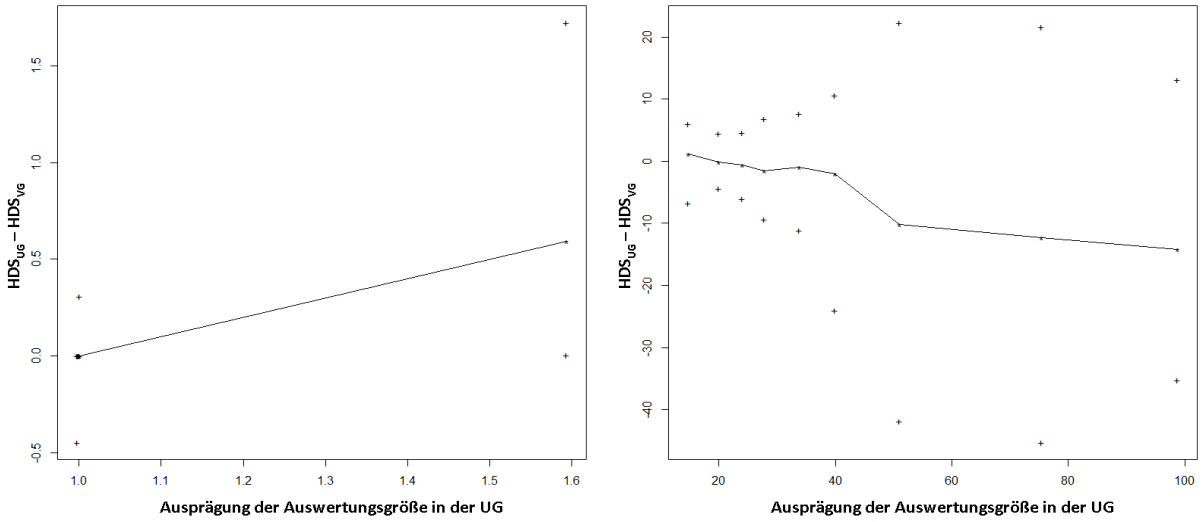


Statistik zu den Dezilen des CM-SRG$_{vorw}$				Statistik zu den Dezilen des CM-GU$_{vorw}$			
Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,791	-5,711; 4,045	0,713	90%	-1,016	-4,477; 3,513	0,572
80%	-1,039	-7,368; 4,340	0,617	80%	-1,326	-4,913; 2,331	0,364
70%	-1,957	-9,353; 4,466	0,419	70%	-1,133	-4,412; 2,211	0,343
60%	-4,335	-12,389; 3,739	0,140	60%	-0,517	-3,053; 1,773	0,611
50%	-6,601	-13,375; 1,788	0,021[a]	50%	-0,296	-2,568; 1,585	0,702
40%	-7,638	-15,257; 0,622	0,011[b]	40%	-0,497	-2,624; 1,627	0,537
30%	-6,943	-14,548; 3,029	0,072	30%	-0,930	-3,875; 1,919	0,393
20%	-2,260	-14,733; 7,612	0,580	20%	-0,965	-3,549; 2,206	0,468
10%	-0,281	-13,370; 12,505	0,948	10%	-0,115	-2,562; 2,078	0,924

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,006

Abbildung 31: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_{vorw}$ und CM-GU$_{vorw}$ zu t_0

Aus dem Vergleich zum CM-SRG$_{vorw}$ in Abbildung 31 geht hervor, dass die VG in allen Dezilen höhere Prozentpunkte aufweist. Während der Unterschied bei den Proband/innen mit dem niedrigsten und höchsten CM-SRG$_{vorw}$ nur gering ist, schwankt der Unterschied zwischen dem 30%- und 60%-Dezil zwischen 4,335 und 7,638 Prozentpunkten. Auch beim CM-GU$_{vorw}$ weist die VG durchweg höhere Werte auf, wobei die Proband/innen dieser Gruppe 0,115 – 1,326 gewertete Konzepte/Sinneinheiten mehr konstruiert haben als die der UG. Die Unterschiede beim CM-SRG$_{vorw}$ und CM-GU$_{vorw}$ sind jeweils nicht signifikant.

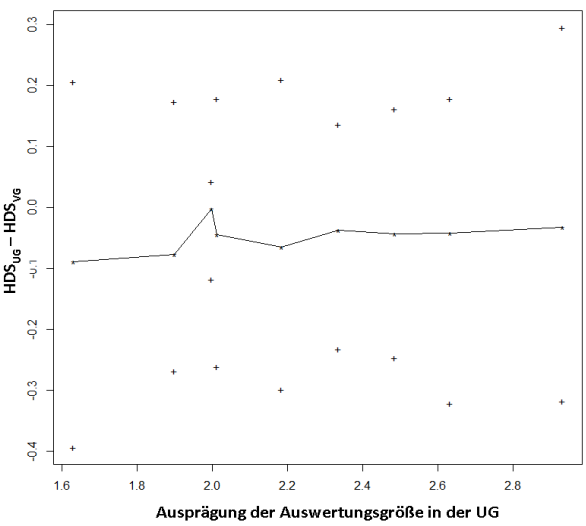


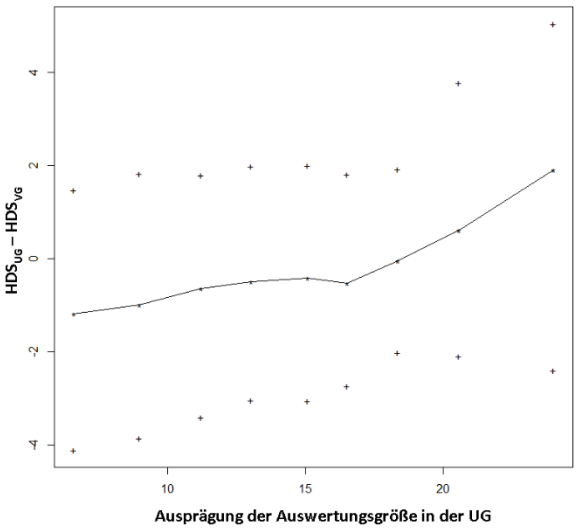
Statistik zu den Dezilen des CM-TS_{vorw}				Statistik zu den Dezilen des CM-SP_{vorw}			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,593	0,593; 0,001	0,003**	90%	-14,160	-35,206; 13,152	0,149
80%	$6{,}394e^{-04}$	$-9{,}475e^{-11}$; 0,308	0,008[a]	80%	-12,364	-45,273; 21,591	0,300
70%	$4{,}458e^{-10}$	0,000; $2{,}497e^{-04}$	0,050[b]	70%	-1,152	-41,839; 22,306	0,446
60%	0,000	0,000; $9{,}060e^{-10}$	0,662	60%	-2,031	-24,005; 10,604	0,643
50%	0,000	0,000; 0,000	0,993	50%	-1,018	-11,171; 7,635	0,802
40%	0,000	0,000; 0,000	1,000	40%	-1,522	-9,417; 6,808	0,597
30%	0,000	$-3{,}224e^{-12}$; 0,000	0,868	30%	-0,608	-6,073; 4,633	0,743
20%	$-1{,}011e^{-11}$	$-4{,}632e^{-05}$; 0,000	0,117	20%	-0,197	-4,416; 4,512	0,925
10%	$-1{,}956e^{-03}$	-0,448; 0,000	0,008[c]	10%	1,114	-6,783; 5,951	0,744

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,008, [c] 0,007

Abbildung 32: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS_{vorw} und CM-SP_{vorw} zu t_0

Bezüglich des CM-TS_{vorw} wird aus Abbildung 32 deutlich, dass die Proband/innen der VG im 10%- und 20%-Dezil minimal mehr Teilstrukturen erstellt haben als die der UG. Nach einem größeren Bereich der Ausgeglichenheit wechselt dies hin zur UG, die ab dem 70%-Dezil eine zunächst ebenfalls nur minimal größere Anzahl an Teilstrukturen besitzt. Lediglich im 90%-Dezil zeigt sich ein sehr signifikanter Unterschied von etwas über einer halben Teilstruktur (0,593), die von den Proband/innen der VG weniger konstruiert wurde. Beim CM-SP_{vorw} weist die VG bis auf das 10%-Dezil durchgehend höhere Werte auf, d.h. abgesehen von den Proband/innen mit den wenigsten Strukturpunkten haben bei allen anderen stets die aus der VG mehr Strukturpunkte erzielt. Im 80%- und 90%-Dezil beträgt der Unterschied 12,364 bzw. 14,160 Strukturpunkte. Es bestehen keine signifikanten Differenzen beim CM-SP_{vorw}.





Statistik zu den Dezilen des CM-VNI$_{vorw}$				Statistik zu den Dezilen des CM-KPG$_{vorw}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,032	-0,318; 0,296	0,896	90%	1,910	-2,393; 5,040	0,274
80%	-0,042	-0,321; 0,179	0,516	80%	0,606	-2,096; 3,774	0,552
70%	-0,043	-0,246; 0,161	0,643	70%	-0,050	-2,018; 1,925	0,938
60%	-0,037	-0,232; 0,136	0,602	60%	-0,523	-2,739; 1,809	0,610
50%	-0,065	-0,299; 0,210	0,581	50%	-0,409	-3,058; 1,996	0,701
40%	-0,045	-0,260; 0,179	0,506	40%	-0,499	-3,036; 1,990	0,701
30%	-0,001	-0,118; 0,043	0,425	30%	-0,642	-3,405; 1,789	0,462
20%	-0,077	-0,268; 0,174	0,444	20%	-0,982	-3,857; 1,818	0,335
10%	-0,089	-0,393; 0,207	0,375	10%	-1,181	-4,103; 1,479	0,193

Abbildung 33: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI$_{vorw}$ und CM-KPG$_{vorw}$ zu t_0

Gemäß Abbildung 33 zeigt die VG in allen Dezilen eine nicht signifikante minimal höhere Ausprägung beim CM-VNI$_{vorw}$. Bezüglich des CM-KPG$_{vorw}$ ist zu erkennen, dass die VG bis auf die beiden obersten Dezile in allen anderen 0,050 – 1,181 Prozentpunkte mehr erreicht hat. Im 80%- und 90%-Dezil, d.h. bei den Proband/innen mit der größten Übereinstimmung mit dem Referenznetz, zeigen hingegen die aus der UG um 0,606 bzw. 1,910 Prozentpunkte höhere Werte.

Insgesamt weisen die Dezilvergleiche bei allen Auswertungsgrößen bis auf das oberste Dezil des CM-TS$_{vorw}$ auf keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Testgruppen zu t_0 hin. Die Dezile des CM-TS$_{vorw}$ zeigen ein heterogenes Bild. Während der S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$, CM-SRG$_{vorw}$, CM-GU$_{vorw}$ und CM-VNI$_{vorw}$ jeweils in allen Dezilen sowie der K-Wert$_{vorw\text{-}ELE}$, CM-SP$_{vorw}$ und CM-KPG$_{vorw}$ jeweils in der Mehrheit der Dezile zugunsten der VG ausfallen, weist die UG lediglich beim K-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ in allen Dezilen sowie beim S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$ in acht von neun Dezilen höhere Werte auf.

Da der in Tabelle 47 vorgestellte univariate Gruppenvergleich keine signifikanten M_γ-Differenzen andeutet, erfolgt gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.2.3 ein Gruppenvergleich auf der multivariaten Ebene aller AVs (ohne den CM-KPG$_{vorw}$). Wegen der Ausprägung der Gruppenwerte beim CM-TS$_{vorw}$ werden die multivariaten Tests ohne diese Auswertungsgröße durchgeführt. Es liegen folgende Testergebnisse vor:

- *MULtr.anova*/*MULAOVp*:
  - γ = 0,05: p = 0,178 (Teststatistik: 12,008; kritischer Wert: 16,465)
  - γ = 0,10: p = 0,212 (Teststatistik: 11,391; kritischer Wert: 16,578)
  - γ = 0,20: p = 0,200 (Teststatistik: 11,836; kritischer Wert: 16,966)
- *depthg2*: KI = [-0,163; 0,126]
- *mulwmwv2*:
  - DGM (r_e = 0,150): unterer kritischer Wert (0,343) < MV-Differenz (0,541) < oberer kritischer Wert (0,613)
  - MCD (r_e = 0,026): unterer kritischer Wert (0,362) < MV-Differenz (0,511) < oberer kritischer Wert (0,609)
  - MMD (r_e = 0,238): unterer kritischer Wert (0,397) < MV-Differenz (0,582) < oberer kritischer Wert (0,619)

Der multivariate Gruppenvergleich deutet keine signifikante Differenz zwischen der UG und der VG zu t_0 (CM_{vorw}) auf der Ebene aller AVs an[135]: die p-Werte bei *MULtr.anova*/*MULAOVp* sind jeweils nicht signifikant, das KI bei *depthg2* enthält den Wert Null und die MV-Differenz liegt bei *mulwmwv2* jeweils zwischen dem unteren und oberen kritischen Wert (vgl. Wilcox 2017a).

6.1.2.3 Entwicklung der UG von t_0 zu t_1

Die zweiseitige Überprüfung der H_1 bzw. $H_{1.1}$ bis $H_{1.5}$ erfolgt über den univariaten Vergleich von t_0 und t_1 mittels *D*. Tabelle 50 zeigt die Testergebnisse (p-Wert und M_γ-Differenz mit 95%-KI) mit α-Fehler-Kontrolle von oben nach unten für *rmmcp*, *lindepbt*, *bootdpci* und *rmmcppb*. Eine positive M_γ-Differenz steht für eine Zunahme, eine negative für eine Abnahme des M_γ.

Tabelle 50: p-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Zeitvergleich bei der UG

	K-Wert$_{ELE}$[a]	K-Wert$_{PRO}$[b]	S-Wert$_{BEZ}$[a]	S-Wert$_{PRO}$[a]	CM-SRG
γ = 0,05	p < 0,001*** 6,574 [5,689; 7,458]	p < 0,001*** 1,522 [1,081; 1,962]	p < 0,001*** 5,461 [4,287; 6,635]	p < 0,001*** 11,548 [9,893; 13,202]	p = 0,115 1,606 [-3,611; 0,399]
γ = 0,10	p < 0,001*** 6,495 [5,583; 7,407]	p < 0,001*** 1,359 [0,911; 1,808]	p < 0,001*** 5,146 [3,905; 6,386]	p < 0,001*** 11,340 [9,597; 13,083]	p = 0,123 1,494 [-3,401; 0,413]
γ = 0,20	p < 0,001*** 6,416 [5,500; 7,331]	p < 0,001*** 1,078 [0,689; 1,467]	p < 0,001*** 4,545 [3,320; 5,771]	p < 0,001*** 11,195 [9,349; 13,041]	p = 0,230 0,999 [-2,642; 0,645]
γ = 0,05	p < 0,001*** 6,574 [5,698; 7,450]	p < 0,001*** 1,522 [1,075; 1,968]	p < 0,001*** 5,461 [4,305; 6,617]	p < 0,001*** 11,548 [9,888; 13,208]	p = 0,121 1,606 [-3,648; 0,436]
MOM	p < 0,001*** 6,292 [5,432; 7,156]	p = 0,035* 0,964 [0,000; 1,861]	p < 0,001*** 4,824 [1,833; 6,293]	p < 0,001*** 11,756 [9,607; 13,405]	p = 0,671 -0,043 [-2,591; 1,311]
γ = 0,10	p < 0,001*** 6,495 [5,612; 7,408]	p < 0,001*** 1,359 [0,971; 1,806]	p < 0,001*** 5,146 [4,000; 6,350]	p < 0,001*** 11,340 [9,670; 13,107]	p = 0,129 -1,494 [-3,486; 0,343]
γ = 0,20	p < 0,001*** 6,416 [5,519; 7,364]	p < 0,001*** 1,078 [0,701; 1,545]	p < 0,001*** 4,545 [3,351; 5,922]	p < 0,001*** 11,195 [9,481; 13,091]	p = 0,211 -0,999 [-2,799; 0,533]
MOM	p < 0,001*** 6,292 [5,432; 7,156]	p = 0,035* 0,964 [0,000; 1,861]	p < 0,001*** 4,824 [1,833; 6,293]	p < 0,001*** 11,756 [9,607; 13,405]	p = 0,671 -0,043 [-2,591; 1,311]

[135] Ein Grund hierfür können die Korrelationen zwischen den verbliebenen Auswertungsgrößen sein (vgl. Kapitel 5.1).

	CM-GU[a]	CM-TS	CM-SP[a]	CM-VNI[c]	CM-KPG[a]
$\gamma = 0{,}05$	$p < 0{,}001$*** 9,261 [8,159; 10,362]	$p = 0{,}701$ 0,009 [-0,036; 0,053]	$p < 0{,}001$*** 46,009 [38,080; 53,937]	$p = 0{,}014$* 0,080 [0,016; 0,143]	$p < 0{,}001$*** 8,666 [7,576; 9,757]
$\gamma = 0{,}10$	$p < 0{,}001$*** 9,282 [8,121; 10,442]	p = k.A. k.A. [k.A.]	$p < 0{,}001$*** 44,252 [35,847; 52,658]	$p = 0{,}012$* 0,079 [0,017; 0,140]	$p < 0{,}001$*** 8,647 [7,470; 9,825]
$\gamma = 0{,}20$	$p < 0{,}001$*** 9,286 [8,023; 10,548]	p = k.A. k.A. [k.A.]	$p < 0{,}001$*** 41,818 [32,840; 50,796]	$p = 0{,}013$* 0,078 [0,017; 0,140]	$p < 0{,}001$*** 8,582 [7,312; 9,851]
$\gamma = 0{,}05$	$p < 0{,}001$*** 9,261 [8,164; 10,358]	$p = 0{,}708$ 0,009 [-∞; ∞]	$p < 0{,}001$*** 46,009 [38,279; 53,739]	$p = 0{,}013$* 0,080 [0,018; 0,142]	$p < 0{,}001$*** 8,666 [7,592; 9,740]
MOM	$p < 0{,}001$*** 9,192 [8,008; 10,271]	$p = 1{,}000$ 0,000 [0,000; 0,000]	$p < 0{,}001$*** 47,198 [31,826; 55,135]	$p = 0{,}055$ 0,065 [-0,0003; 0,127]	$p < 0{,}001$*** 8,725 [7,539; 9,787]
$\gamma = 0{,}10$	$p < 0{,}001$*** 9,282 [8,136; 10,408]	$p = 0{,}990$ [0,000; 0,000]	$p < 0{,}001$*** 44,252 [36,680; 52,942]	$p = 0{,}014$* 0,079 [0,018; 0,134]	$p < 0{,}001$*** 8,647 [7,514; 9,787]
$\gamma = 0{,}20$	$p < 0{,}001$*** 9,286 [8,065; 10,506]	$p = 1{,}000$ [0,000; 0,000]	$p < 0{,}001$*** 41,818 [33,273; 51,506]	$p = 0{,}016$* 0,078 [0,014; 0,136]	$p < 0{,}001$*** 8,582 [7,373; 9,837]
MOM	$p < 0{,}001$*** 9,192 [8,008; 10,271]	$p = 1{,}000$ 0,000 [0,000; 0,000]	$p < 0{,}001$*** 47,198 [31,826; 55,135]	$p = 0{,}055$ 0,065 [-0,0003; 0,127]	< 0,001*** 8,725 [7,539; 9,787]

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: $p < 0{,}001$***
[b] Nach α-Fehler-Kontrolle: $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}035$*, $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}001$***, $p = 0{,}035$*
[c] Nach α-Fehler-Kontrolle: $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}055$, $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}021$*, $p = 0{,}055$

Die Ergebnisse in Tabelle 50 weisen, z.T. nach α-Fehler-Kontrolle, auf bis zu hochsignifikante Veränderungen von t_0 zu t_1 beim K-Wert$_{ELE}$, K-Wert$_{PRO}$, S-Wert$_{BEZ}$, S-Wert$_{PRO}$, CM-GU, CM-SP, CM-VNI und CM-KPG hin. Keine Signifikanz zeigen der CM-SRG und der CM-TS. Die absoluten Veränderungen betragen im Durchschnitt -2 – -3% beim CM-SRG, 0 – -3% beim CM-TS, 4% beim CM-VNI, 39% beim S-Wert$_{BEZ}$, 60% beim K-Wert$_{ELE}$, 61% beim CM-KPG, 62% beim CM-GU, 63 – 72% beim K-Wert$_{PRO}$, 100% beim S-Wert$_{PRO}$ und 112 – 136% beim CM-SP.

Bezogen auf die Testergebnisse von *rmmcp* in Tabelle 50 wird anhand der in Tabelle 51 angegebenen Werte auf die Erreichung der nominellen Teststärke geschlossen. Bei den Werten handelt es sich um diejenige Gruppengröße, die zusätzlich nötig ist, um die nominelle Teststärke zu erreichen (*stein1.tr*).

Tabelle 51: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Zeitvergleich bei der UG

	K-Wert$_{ELE}$	K-Wert$_{PRO}$	S-Wert$_{BEZ}$	S-Wert$_{PRO}$	CM-SRG
$\gamma = 0{,}05$	0	0	0	0	888
$\gamma = 0{,}10$	0	0	0	0	762
$\gamma = 0{,}20$	0	0	0	0	484
	CM-GU	**CM-TS**	**CM-SP**	**CM-VNI**	**CM-KPG**
$\gamma = 0{,}05$	0	∞	0	38	0
$\gamma = 0{,}10$	0	k.A.	0	23	0
$\gamma = 0{,}20$	0	k.A.	0	12	0

Wie Tabelle 51 zeigt, bedarf es beim CM-VNI weniger zusätzlicher Proband/innen, während die Verteilung der Gruppenwerte beim CM-SRG eine sehr große Anzahl erforderlich macht. Bezüglich der Teststärke von *rmmcp* bedeutet dies, dass sie beim CM-VNI leicht und beim CM-SRG sehr stark unterhalb des nominellen Niveaus liegt. Bei allen anderen Auswertungsgrößen besteht eine Teststärke von mindestens 80%. Hiervon ausgenommen ist der CM-TS, für den keine Aussage getroffen werden kann.

Gemäß Tabelle 38 sind die eM$_\gamma$D bzw. d_t (*D.akp.effect*) und r_e (*yuendv2*) in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Effektstärken des univariaten Zeitvergleichs bei der UG

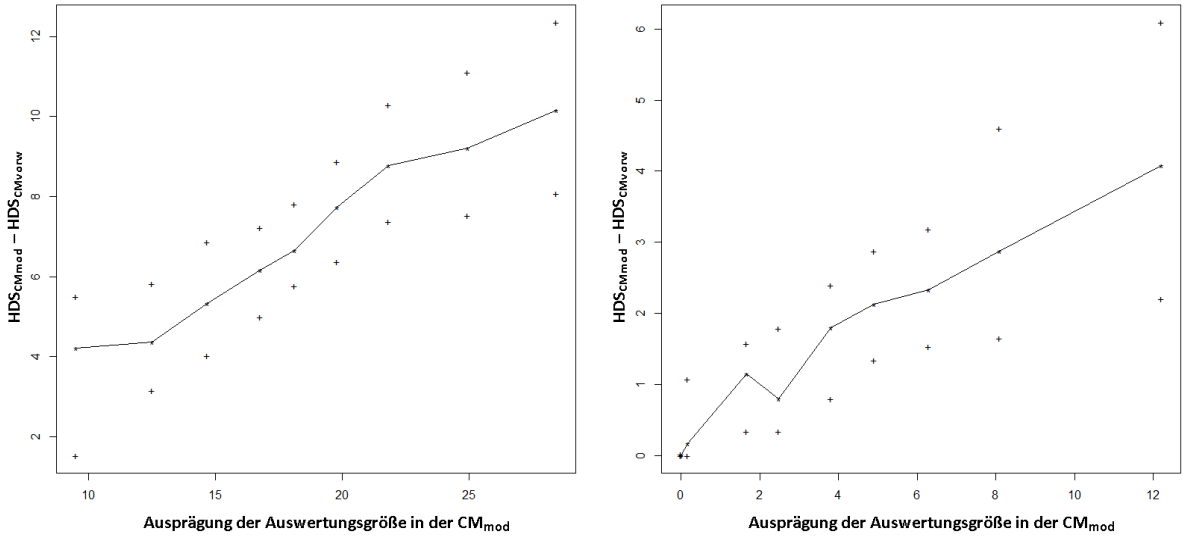
	K-Wert$_{ELE}$	K-Wert$_{PRO}$	S-Wert$_{BEZ}$	S-Wert$_{PRO}$	CM-SRG
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	6,905	1,713	5,461	11,887	-1,870
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	6,903	1,650	5,437	11,991	-1,698
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	6,961	1,610	5,429	12,026	-1,514
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	1,292	0,436	0,689	1,205	-0,089
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	1,275	0,435	0,664	1,164	-0,095
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	1,325	0,524	0,701	1,147	-0,115
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,680	0,278	0,408	0,664	0,070
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,700	0,271	0,401	0,646	0,066
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,697	0,275	0,400	0,693	0,059
	CM-GU	**CM-TS**	**CM-SP**	**CM-VNI**	**CM-KPG**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	9,635	-0,035	48,130	0,083	9,039
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	9,758	-0,010	49,194	0,088	9,139
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	9,832	0,000	50,533	0,080	9,131
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	1,501	0,000	0,939	0,220	1,415
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	1,451	k.A.	0,902	0,232	1,331
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	1,390	k.A.	0,881	0,241	1,278
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,702	0,047	0,621	0,112	0,655
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,709	∞	0,624	0,121	0,650
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,697	k.A.	0,643	0,121	0,667

Hinweis: Das Effektstärkemaß r_e beruht nicht auf *D*.

Wie Tabelle 52 zeigt, deutet die eM$_\gamma$D eine Zunahme beim K-Wert$_{ELE}$, S-Wert$_{BEZ}$, S-Wert$_{PRO}$, CM-GU, CM-SP, CM-VNI und CM-KPG an. Beim S-Wert$_{PRO}$ entspricht diese fast und bei CM-SP etwas mehr als einer Verdoppelung der vorherigen Punktezahl. Beim CM-KPG ist eine Zunahme um 9,039 – 9,139 Prozentpunkte gegeben. K-Wert$_{ELE}$ und CM-GU sind um (mehr als) die Hälfte sowie S-Wert$_{BEZ}$ und CM-VNI um je ca. ein Drittel angestiegen. Der CM-SRG zeigt eine (nicht signifikante) Abnahme von 1,5 – 1,8 Prozentpunkten. Beim CM-TS besteht bei γ = 0,05 bzw. γ = 0,10 eine (nicht signifikante) Abnahme der Anzahl an Teilstrukturen. Gemäß d_t und r_e liegt beim K-Wert$_{ELE}$, S-Wert$_{PRO}$, CM-GU, CM-SP und CM-KPG sowie tendenziell auch beim S-Wert$_{BEZ}$ ein großer Effekt vor. Beim K-Wert$_{PRO}$ besteht tendenziell ein moderater und beim CM-VNI ein schwacher Effekt. Die Abnahme beim CM-SRG entspricht einem sehr schwachen Effekt.

Für einen tieferen Einblick in die Entwicklung der einzelnen Auswertungsgrößen bei der UG wird der Vergleich von t_1 mit t_0 auf der Dezilebene durchgeführt (R-Funktion *Dqcomhd*). Im Gegensatz zu den Erläuterungen in Kapitel 6.1.2.2 steht in den nachfolgenden Abbildungen keine Gruppendifferenz im Vordergrund, sondern die Differenz der CM$_{mod}$ zur CM$_{vorw}$ bei der UG. Es wird der HDS-Wert eines Dezils der CM$_{vorw}$ (t_0) vom HDS-Wert des gleichen Dezils der CM$_{mod}$ (t_1) subtrahiert. Auf der Y-Achse ist die Differenz und auf der X-Achse die Ausprägung der jeweiligen Auswertungsgröße in der CM$_{mod}$ dargestellt. Es gilt sonst die gleiche Darstellungsweise wie beim Dezilvergleich in Kapitel 6.1.2.2. Es ist zu beachten, dass der Vergleich der einzelnen Dezile vielfach nicht die gleichen Proband/innen betrifft, da diese bei der Berechnung zunächst nach der Höhe ihrer Werte bei den Auswertungsgrößen in der CM$_{mod}$ und anschließend nach der Höhe ihrer Werte bei den Auswertungsgrößen in der CM$_{vorw}$ aufsteigend sortiert wurden, bevor die Differenz auf der Ebene der einzelnen Dezile gebildet wurde. Je

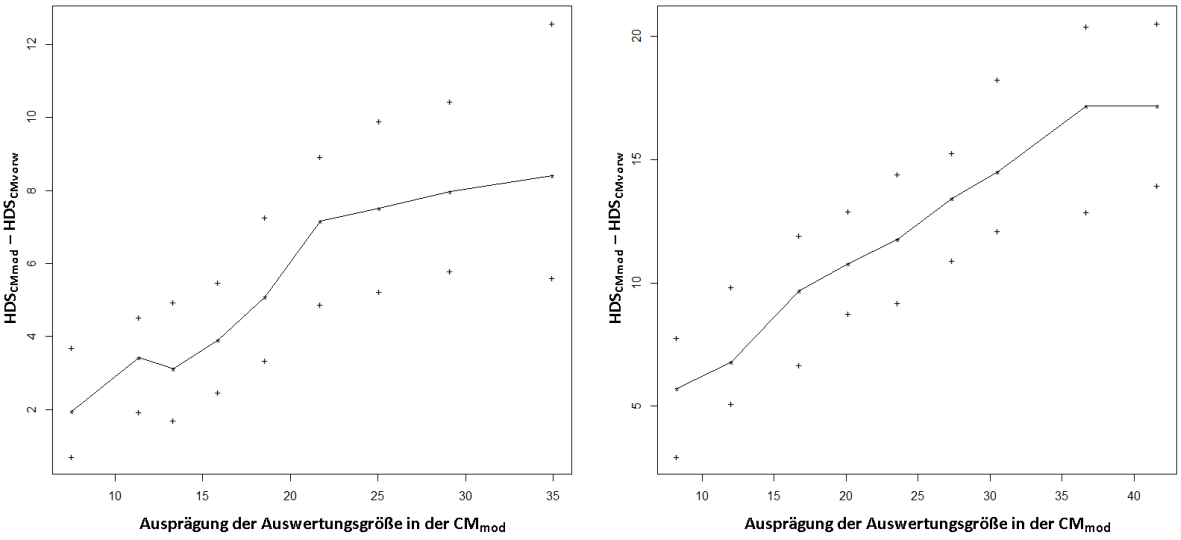
nach Entwicklung auf der Individualebene kann sich ein und dieselbe Probandin bzw. ein und derselbe Proband deshalb bei der CM_{mod} in einem anderen Dezil befinden als bei der CM_{vorw}. Je enger Dezile mit ihrem 95%-KI zusammenliegen, umso geringer sind die Unterschiede zwischen den Proband/innen in den Einheiten der X-Achse, d.h. der jeweiligen Auswertungsgröße. Enge KIs stehen erneut für eine hohe Schätzgenauigkeit des HDS-Werts. Da der Nullwert auf der Y-Achse bedeutet, dass der HDS-Wert der CM_{vorw} dem der CM_{mod} entspricht, gelten positive Werte als Ausdruck einer höheren Ausprägung in der CM_{mod} und negative Werte als Hinweis auf einen höheren Wert in der CM_{vorw}.



Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{ELE}$				Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{PRO}$			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	10,160	8,078; 12,355	< 0,001***	90%	4,074	2,001; 6,092	< 0,001***
80%	9,218	7,535; 11,112	< 0,001***	80%	2,870	1,650; 4,599	< 0,001***
70%	8,782	7,387; 10,286	< 0,001***	70%	2,326	1,529; 3,181	< 0,001***
60%	7,734	6,376; 8,875	< 0,001***	60%	2,133	1,343; 2,875	< 0,001***
50%	6,656	5,772; 7,817	< 0,001***	50%	1,797	0,796; 2,400	< 0,001***
40%	6,164	4,999; 7,232	< 0,001***	40%	0,794	0,341; 1,784	< 0,001***
30%	5,342	4,024; 6,868	< 0,001***	30%	1,145	0,339; 1,579	0,002**
20%	4,364	3,148; 5,819	< 0,001***	20%	0,170	$1{,}075e^{-03}$; 1,079	0,008**
10%	4,227	1,535; 5,501	< 0,001***	10%	$2{,}700e^{-05}$	$2{,}499e^{-09}$; 0,015	0,009**

Abbildung 34: Zeitvergleich der Dezile des K-Wert$_{ELE}$ und K-Wert$_{PRO}$ für die UG

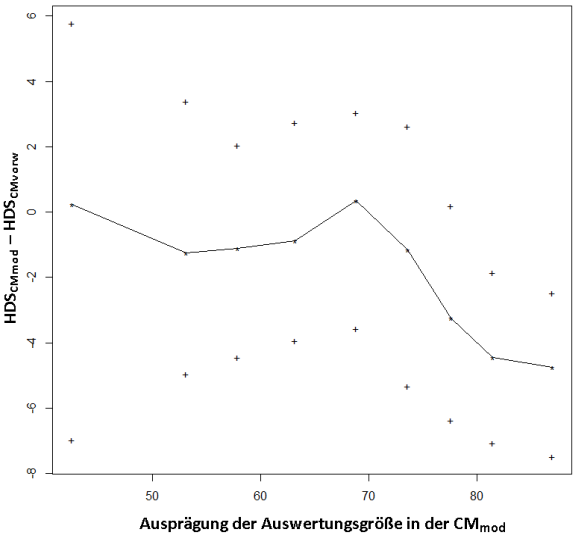
Der Vergleich von t_1 mit t_0 in Abbildung 34 deutet für den K-Wert$_{ELE}$ bei allen Dezilen auf eine hochsignifikante Zunahme der Punktezahl hin: diese steigt vom 10%-Dezil mit 4,227 Punkten kontinuierlich bis auf 10,160 Punkte im 90%-Dezil an. Bezogen auf K-Wert$_{PRO}$ ist zu erkennen, dass eine sehr signifikante Zunahme in den untersten drei Dezilen von bis zu 1,145 Punkten sowie ein hochsignifikanter Anstieg von 1,797 – 4,074 Punkten in den Dezilen darüber erfolgt ist.

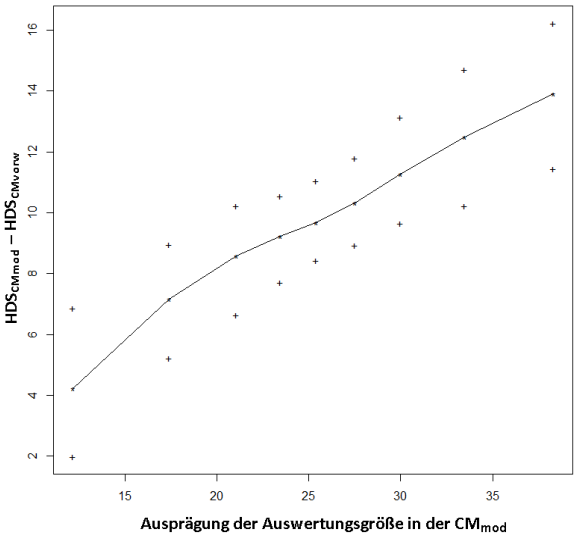


Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{BEZ}$				Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{PRO}$			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	8,413	5,606; 12,581	< 0,001***	90%	17,176	13,941; 20,525	< 0,001***
80%	7,977	5,794; 10,446	< 0,001***	80%	17,186	12,869; 20,397	< 0,001***
70%	7,513	5,225; 9,908	< 0,001***	70%	14,509	12,111; 18,250	< 0,001***
60%	7,171	4,870; 8,922	< 0,001***	60%	13,418	10,898; 15,265	< 0,001***
50%	5,082	3,332; 7,276	< 0,001***	50%	11,778	9,201; 14,409	< 0,001***
40%	3,911	2,477; 5,470	< 0,001***	40%	10,799	8,765; 12,894	< 0,001***
30%	3,122	1,703; 4,944	< 0,001***	30%	9,699	6,665; 11,921	< 0,001***
20%	3,423	1,932; 4,519	< 0,001***	20%	6,810	5,108; 9,834	< 0,001***
10%	1,953	0,710; 3,704	< 0,001***	10%	5,732	2,966; 7,792	< 0,001***

Abbildung 35: Zeitvergleich der Dezile des S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ für die UG

Der Dezilvergleich bezogen auf den S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ in Abbildung 35 lässt bei beiden einen nahezu kontinuierlichen, hochsignifikanten Anstieg der Punktezahlen in allen Dezilen erkennen. Beim S-Wert$_{BEZ}$ liegt der Anstieg zwischen 1,953 und 8,413 Punkten und beim S-Wert$_{PRO}$ zwischen 5,732 und 17,176 Punkten.

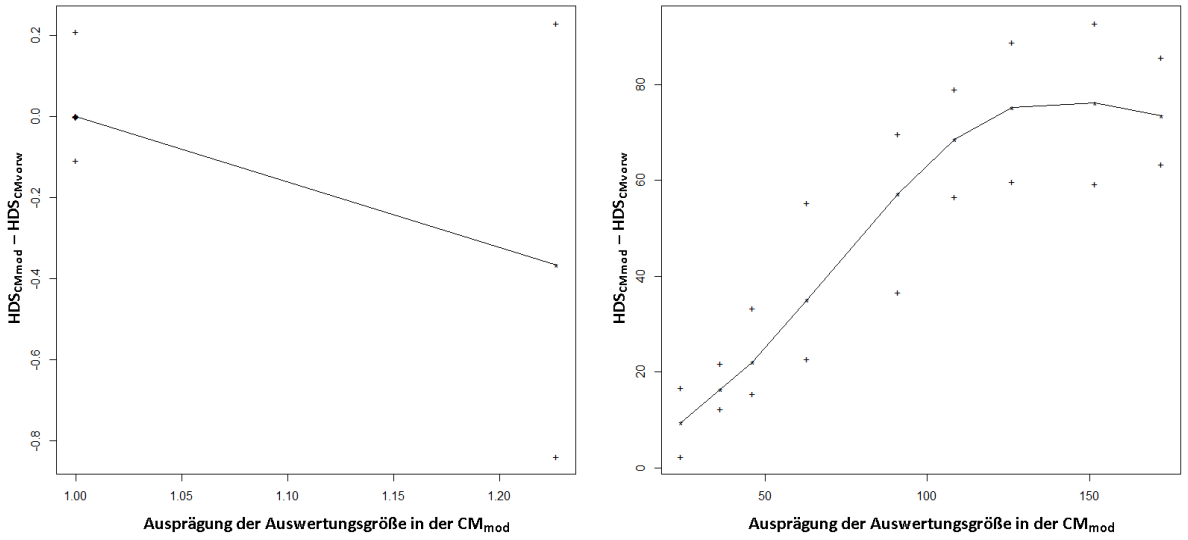




Statistik zu den Dezilen des CM-SRG				Statistik zu den Dezilen des CM-GU			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-4,747	-7,483; -2,469	< 0,001***	90%	13,897	11,446; 16,221	< 0,001***
80%	-4,459	-7,062; -1,852	0,003**	80%	12,488	10,215; 14,708	< 0,001***
70%	-3,242	-6,377; 0,179	0,060	70%	11,277	9,641; 13,146	< 0,001***
60%	-1,169	-5,340; 2,625	0,579	60%	10,317	8,938; 11,799	< 0,001***
50%	0,355	-3,572; 3,046	0,921	50%	9,684	8,419; 11,056	< 0,001***
40%	-0,869	-3,949; 2,745	0,689	40%	9,217	7,699; 10,558	< 0,001***
30%	-1,120	-4,454; 2,033	0,486	30%	8,569	6,631; 10,224	< 0,001***
20%	-1,242	-4,968; 3,391	0,576	20%	7,152	5,217; 8,950	< 0,001***
10%	0,229	-6,972; 5,775	0,974	10%	4,222	1,989; 6,859	< 0,001***

Abbildung 36: Zeitvergleich der Dezile des CM-SRG und CM-GU für die UG

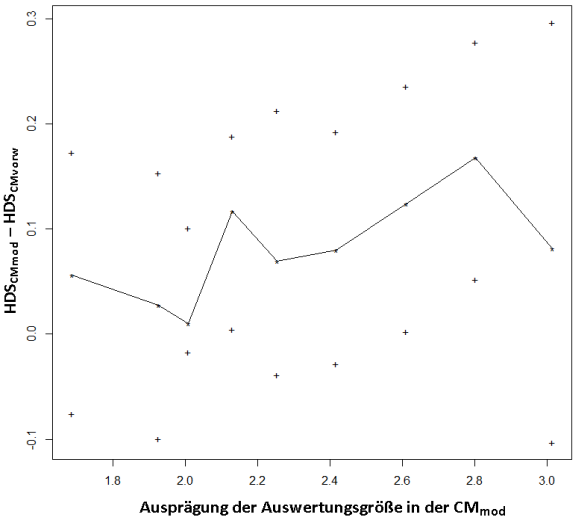
Beim CM-SRG zeigen sich gemäß Abbildung 36 nur bei zwei Dezilen (10% und 50%) Anstiege. Bei den anderen Dezilen sind Abnahmen zu verzeichnen. Die Reduzierung im 20%- bis 40%-Dezil liegt bei 1,120 – 1,242 Prozentpunkten. Ab dem 60%-Dezil aufwärts ist eine Abnahme um 1,169 – 4,747 Prozentpunkte erkennbar. In den beiden obersten Dezilen ist die Annahme sehr bzw. hochsignifikant. Dies bedeutet, dass die höchsten Werte bei der CM_{mod} um die o.g. Differenz niedriger sind als die höchsten Werte bei der CM_{vorw}. Beim CM-GU werden die Zunahmen über die Dezile hinweg kontinuierlich und jeweils hochsignifikant größer: die Zunahme im 10%-Dezil beläuft sich auf 4,222 und im 90%-Dezil auf 13,897 gewertete Konzepte/Sinneinheiten.

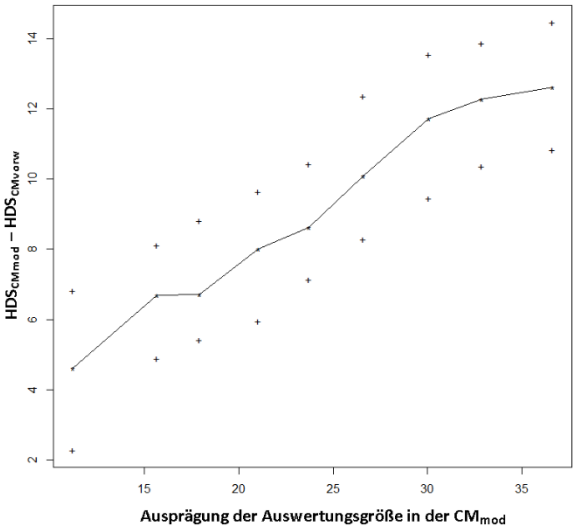


Statistik zu den Dezilen des CM-TS				Statistik zu den Dezilen des CM-SP			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,367	-0,839; 0,229	0,301	90%	73,426	63,364; 85,615	< 0,001***
80%	$-6{,}302e^{-04}$	-0,109; 0,002	0,288	80%	76,154	59,312; 92,746	< 0,001***
70%	$-4{,}455e^{-10}$	$-3{,}143; 2{,}0396e^{-08}$	0,301	70%	75,170	59,651; 88,754	< 0,001***
60%	0,000	$-2{,}752e^{-11}; 4{,}441e^{-16}$	0,719	60%	68,570	56,471; 79,054	< 0,001***
50%	0,000	0,000; 0,000	0,998	50%	57,183	36,594; 69,693	< 0,001***
40%	0,000	0,000; 0,000	1,000	40%	35,078	22,734; 55,252	< 0,001***
30%	0,000	$0{,}000; 1{,}730e^{-13}$	0,871	30%	22,081	15,405; 33,306	< 0,001***
20%	$1{,}011e^{-11}$	$-1{,}011e^{-11}; 9{,}162e^{-06}$	0,335	20%	16,326	12,253; 21,751	< 0,001***
10%	$1{,}941e^{-03}$	$-1{,}956e^{-03}$; 0,209	0,314	10%	9,351	2,353; 16,706	0,012*

Abbildung 37: Zeitvergleich der Dezile des CM-TS und CM-SP für die UG

Wie aus Abbildung 37 hervorgeht, liegt beim CM-TS ein heterogenes Bild vor: In den beiden untersten Dezilen hat die Anzahl der Teilstrukturen, von unter einer Teilstruktur in der CM_{vorw} ausgehend, minimal zugenommen. Es folgt ein Bereich vom 30%- bis zum 60%-Dezil, in dem aufgrund der Verteilung der Gruppenwerte (nahezu) keine Veränderung stattgefunden hat. Ab dem 70%-Dezil aufwärts hat die Anzahl der Teilstrukturen, von mehr als einer Teilstruktur in der CM_{vorw} ausgehend, geringfügig abgenommen. Es liegen keine Signifikanzen vor. Bezüglich des CM-SP ist bis auf das oberste Dezil eine kontinuierlich größer werdende Zunahme von 9,351 auf 76,154 Strukturpunkte über die Dezile hinweg erkennbar. Während im untersten Dezil die Zunahme signifikant ist, liegt in allen anderen Dezilen ein hochsignifikanter Anstieg vor.





Statistik zu den Dezilen des CM-VNI				Statistik zu den Dezilen des CM-KPG			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,081	-0,103; 0,296	0,439	90%	12,615	10,834; 14,461	< 0,001***
80%	0,168	0,052; 0,278	0,004**	80%	12,287	10,364; 13,869	< 0,001***
70%	0,124	0,003; 0,235	0,042[a]	70%	11,727	9,462; 13,553	< 0,001***
60%	0,080	-0,028; 0,193	0,152	60%	10,096	8,293; 12,371	< 0,001***
50%	0,069	-0,039; 0,212	0,217	50%	8,635	7,131; 10,430	< 0,001***
40%	0,117	0,005; 0,188	0,035[b]	40%	8,004	5,958; 9,648	< 0,001***
30%	0,010	-0,017; 0,101	0,265	30%	6,705	5,423; 8,810	< 0,001***
20%	0,028	-0,099; 0,153	0,715	20%	6,691	4,886; 8,120	< 0,001***
10%	0,056	-0,076; 0,173	0,373	10%	4,621	2,285; 6,812	< 0,001***

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,006

Abbildung 38: Zeitvergleich der Dezile des CM-VNI und CM-KPG für die UG

Aus Abbildung 38 ist eine Zunahme des CM-VNI in allen Dezilen zu entnehmen. Die Zunahme um 0,168 Einheiten im 80%-Dezil ist sehr signifikant. Der CM-KPG zeigt in allen Dezilen hochsignifikante Anstiege, die von 4,621 Prozentpunkten im 10%-Dezil bis auf 12,615 Prozentpunkte im 90%-Dezil kontinuierlich größer werden.

Die Dezilvergleiche lassen durchgängig bis zu hochsignifikante Zunahmen bei allen punktbasierten Auswertungsgrößen (K-$Wert_{ELE}$, K-$Wert_{PRO}$, S-$Wert_{BEZ}$, S-$WERT_{PRO}$ und CM-SP) sowie beim CM-GU und CM-KPG erkennen. Abgesehen vom 80%-Dezil liegen beim CM-VNI keine signifikanten Zunahmen vor. Während beim CM-TS insgesamt nur geringfügige Veränderungen gegeben sind, ist bei der Mehrheit der Dezile des CM-SRG eine Abnahme zu erkennen, die in zwei Dezilen sehr bzw. hochsignifikant ist.

Angesichts der univariaten Signifikanzen in Tabelle 50 wird gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.2.4 kein multivariater Vergleich auf der Ebene aller AVs (ohne den CM-KPG) durchgeführt.

6.1.2.4 Entwicklung der VG von t_0 zu t_1

Parallel zur UG sind in Tabelle 53 für die VG die Testergebnisse (*p*-Wert und M_γ-Differenz mit 95%-KI) mit α-Fehler-Kontrolle des univariaten Vergleichs von t_0 und t_1 auf der Basis von *D* von oben nach unten für die R-Funktionen *rmmcp*, *lindepbt*, *bootdpci* und *rmmcppb* dargestellt. Eine positive M_γ-Differenz steht auch hier für eine Zunahme, eine negative für eine Abnahme des M_γ.

Tabelle 53: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Zeitvergleich bei der VG

	K-Wert$_{ELE}$[a]	K-Wert$_{PRO}$[b]	S-Wert$_{BEZ}$[a]	S-Wert$_{PRO}$[a]	CM-SRG[c]
γ = 0,05	*p* < 0,001*** 4,980 [4,236; 5,723]	*p* < 0,001*** 1,347 [0,965; 1,729]	*p* < 0,001*** 5,357 [4,269; 6,446]	*p* < 0,001*** 9,245 [7,684; 10,806]	*p* = 0,027* -2,262 [-4,242; -0,281]
γ = 0,10	*p* < 0,001*** 4,898 [4,127; 5,669]	*p* < 0,001*** 1,227 [0,862; 1,592]	*p* < 0,001*** 5,057 [3,916; 6,198]	*p* < 0,001*** 8,932 [7,390; 10,474]	*p* = 0,031* -2,279 [-4,338; -0,219]
γ = 0,20	*p* < 0,001*** 4,803 [3,959; 5,647]	*p* < 0,001*** 1,030 [0,622; 1,439]	*p* < 0,001*** 4,773 [3,520; 6,025]	*p* < 0,001*** 8,667 [7,120; 10,214]	*p* = 0,013* -2,373 [-4,232; -0,513]
γ = 0,05	*p* < 0,001*** 4,980 [4,212; 5,747]	*p* < 0,001*** 1,347 [0,970; 1,724]	*p* < 0,001*** 5,357 [4,269; 6,446]	*p* < 0,001*** 9,245 [7,677; 10,813]	*p* = 0,023* -2,262 [-4,187; -0,336]
MOM	*p* < 0,001*** 4,913 [3,856; 5,637]	*p* = 0,249 1,150 [0,000; 1,852]	*p* < 0,001*** 5,368 [3,881; 6,377]	*p* < 0,001*** 8,436 [6,646; 10,500]	*p* = 0,032* -2,291 [-4,395; -0,168]
γ = 0,10	*p* < 0,001*** 4,898 [4,170; 5,727]	*p* < 0,001*** 1,227 [0,886; 1,602]	*p* < 0,001*** 5,057 [4,045; 6,273]	*p* < 0,001*** 8,932 [7,523; 10,568]	*p* = 0,024* -2,279 [-4,176; -0,350]
γ = 0,20	*p* < 0,001*** 4,803 [4,045; 5,636]	*p* < 0,001*** 1,030 [0,682; 1,439]	*p* < 0,001*** 4,773 [3,667; 6,030]	*p* < 0,001*** 8,667 [7,152; 10,242]	*p* = 0,026* -2,373 [-4,213; -0,440]
MOM	*p* < 0,001*** 4,913 [3,856; 5,637]	*p* = 0,249 1,150 [0,000; 1,852]	*p* < 0,001*** 5,368 [3,881; 6,377]	*p* < 0,001*** 8,436 [6,646; 10,500]	*p* = 0,032* -2,291 [-4,395; -0,168]

	CM-GU[a]	CM-TS	CM-SP[a]	CM-VNI[d]	CM-KPG[a]
γ = 0,05	*p* < 0,001*** 8,286 [7,154; 9,418]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* < 0,001*** 36,653 [28,614; 44,692]	*p* < 0,001*** 0,122 [0,056; 0,188]	*p* < 0,001*** 4,291 [3,379; 5,202]
γ = 0,10	*p* < 0,001*** 8,205 [7,087; 9,322]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* < 0,001*** 34,341 [26,291; 42,391]	*p* < 0,001*** 0,012 [0,052; 0,189]	*p* < 0,001*** 4,221 [3,286; 5,156]
γ = 0,20	*p* < 0,001*** 8,136 [6,908; 9,365]	*p* = k.A. k.A.[k.A.]	*p* < 0,001*** 30,500 [22,437; 38,563]	*p* = 0,002** 0,115 [0,045; 0,184]	*p* < 0,001*** 4,218 [3,270; 5,165]
γ = 0,05	*p* < 0,001*** 8,286 [7,084; 9,487]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* < 0,001*** 36,653 [28,390; 44,916]	*p* < 0,001*** 0,122 [0,056; 0,188]	*p* < 0,001*** 4,291 [3,356; 5,255]
MOM	*p* < 0,001*** 8,355 [7,020; 9,430]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* < 0,001*** 27,728 [19,093; 39,901]	*p* = 0,003** 0,108 [0,038; 0,177]	*p* < 0,001*** 3,928 [3,103; 5,125]
γ = 0,10	*p* < 0,001*** 8,205 [7,080; 9,455]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* < 0,001*** 34,341 [27,250; 42,364]	*p* = 0,001*** 0,012 [0,053; 0,186]	*p* < 0,001*** 4,221 [3,337; 5,180]
γ = 0,20	*p* < 0,001*** 8,136 [6,955; 9,394]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* < 0,001*** 30,500 [23,409; 38,864]	*p* = 0,002** 0,115 [0,047; 0,180]	*p* < 0,001*** 4,218 [3,274; 5,173]
MOM	*p* < 0,001*** 8,355 [7,020; 9,430]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* < 0,001*** 27,728 [19,093; 39,901]	*p* = 0,003** 0,108 [0,038; 0,177]	*p* < 0,001*** 3,928 [3,103; 5,125]

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* < 0,001***
[b] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,001***, *p* = 0,001***, *p* = 0,001***, *p* = 0,249, *p* = 0,001***, *p* = 0,001***, *p* = 0,001***, *p* = 0,249
[c] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,032*
[d] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,002**, *p* = 0,002**, *p* = 0,003**, *p* = 0,002**, *p* = 0,003**, *p* = 0,002**, *p* = 0,003**, *p* = 0,003**

Die Ergebnisse in Tabelle 53 deuten nach α-Fehler-Kontrolle bei allen Auswertungsgrößen bis auf den CM-TS durchgehend auf bis zu hochsignifikante Veränderungen hin; hiervon ausgenommen sind beim K-Wert$_{PRO}$ die Ergebnisse auf der Basis des MOM. Die Ergebnisse für den CM-TS stehen in Zusammenhang mit der Verteilung der Gruppenwerte. Angesichts der Schwierigkeiten bei der Berechnung kann an dieser Stelle keine Aussage über die Entwicklung dieser Auswertungsgröße getätigt werden.

Bei den Werten in Tabelle 54 handelt es sich um diejenige Gruppengröße, die zusätzlich benötigt wird, damit *rmmcp* in Tabelle 53 die nominelle Teststärke erreicht (*stein1.tr*).

Tabelle 54: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Zeitvergleich bei der VG

	K-Wert$_{ELE}$	K-Wert$_{PRO}$	S-Wert$_{BEZ}$	S-Wert$_{PRO}$	CM-SRG
γ = 0,05	0	0	0	0	42
γ = 0,10	0	0	0	0	48
γ = 0,20	0	0	0	0	10
	CM-GU	**CM-TS**	**CM-SP**	**CM-VNI**	**CM-KPG**
γ = 0,05	0	k.A.	0	0	0
γ = 0,10	0	k.A.	0	0	0
γ = 0,20	0	k.A.	0	0	0

Hervorgehend aus den Werten in Tabelle 54 zeigt sich, dass lediglich im Zusammenhang mit dem CM-SRG eine geringe Anzahl an zusätzlichen Proband/innen benötigt wird, sodass die aktuelle Teststärke von *rmmcp* hier leicht unterhalb des nominellen Niveaus liegt. Bei allen anderen Auswertungsgrößen außer dem CM-TS hat die Probandenzahl ausgereicht; zum CM-TS selbst sind keine Aussagen möglich.

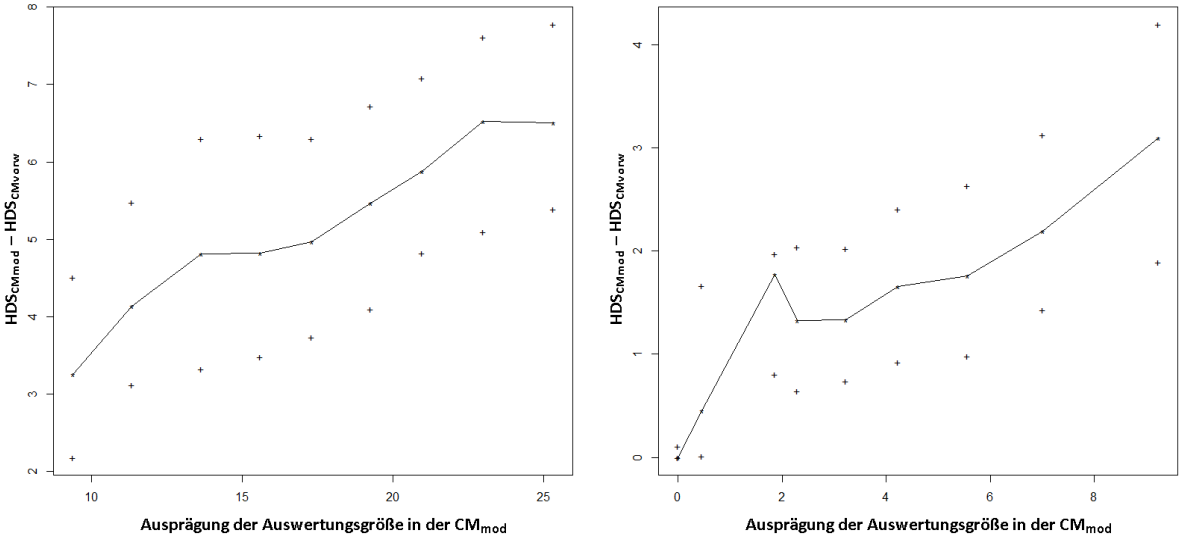
Die eM$_\gamma$D bzw. d_t (*D.akp.effect*) und r_e (*yuendv2*) ist Tabelle 55 zu entnehmen. Eine große eM$_\gamma$D bzw. große Effekte bestehen beim K-Wert$_{ELE}$, S-Wert$_{BEZ}$, S-Wert$_{PRO}$, CM-GU, CM-SP und CM-KPG, die auf z.T. erhebliche Steigerungen beruhen: der CM-KPG hat um 30%, der S-Wert$_{BEZ}$ um 35%, der S-Wert$_{PRO}$ und CM-GU jeweils um 50%, der K-Wert$_{ELE}$ um 70%, der K-Wert$_{PRO}$ um 66 – 81% und der CM-SP um 84 – 105% zugelegt. Der K-Wert$_{PRO}$ zeigt einen moderaten Effekt. Der CM-VNI ist um 6% leicht angestiegen und der CM-SRG um 3 – 4 % gesunken (schwache Effekte). Aussagen zum CM-TS sind nicht möglich.

Tabelle 55: Effektstärken des univariaten Zeitvergleichs bei der VG

	K-Wert$_{ELE}$	K-Wert$_{PRO}$	S-Wert$_{BEZ}$	S-Wert$_{PRO}$	CM-SRG
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	5,143	1,510	5,663	9,776	-2,307
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	5,002	1,478	5,738	9,841	-2,891
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	5,227	1,561	6,136	9,848	-3,270
$d_{t\,(\gamma = 0,05)}$	1,250	0,522	0,848	1,074	-0,232
$d_{t\,(\gamma = 0,10)}$	1,227	0,556	0,824	1,107	-0,227
$d_{t\,(\gamma = 0,20)}$	1,170	0,519	0,783	1,152	-0,262
$r_{e\,(\gamma = 0,05)}$	0,588	0,324	0,388	0,672	0,090
$r_{e\,(\gamma = 0,10)}$	0,573	0,315	0,399	0,665	0,122
$r_{e\,(\gamma = 0,20)}$	0,562	0,305	0,369	0,708	0,136
	CM-GU	**CM-TS**	**CM-SP**	**CM-VNI**	**CM-KPG**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	8,613	0,000	39,653	0,125	4,593
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	8,636	0,000	40,682	0,134	4,610
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	8,500	0,000	42,969	0,151	4,510
$d_{t\,(\gamma = 0,05)}$	1,390	k.A.	0,734	0,335	0,911
$d_{t\,(\gamma = 0,10)}$	1,434	k.A.	0,746	0,330	0,899
$d_{t\,(\gamma = 0,20)}$	1,362	k.A.	0,778	0,340	0,915
$r_{e\,(\gamma = 0,05)}$	0,695	k.A.	0,533	0,182	0,489
$r_{e\,(\gamma = 0,10)}$	0,683	k.A.	0,538	0,187	0,497
$r_{e\,(\gamma = 0,20)}$	0,705	k.A.	0,508	0,228	0,481

Hinweis: Das Effektstärkemaß r_e beruht nicht auf *D*.

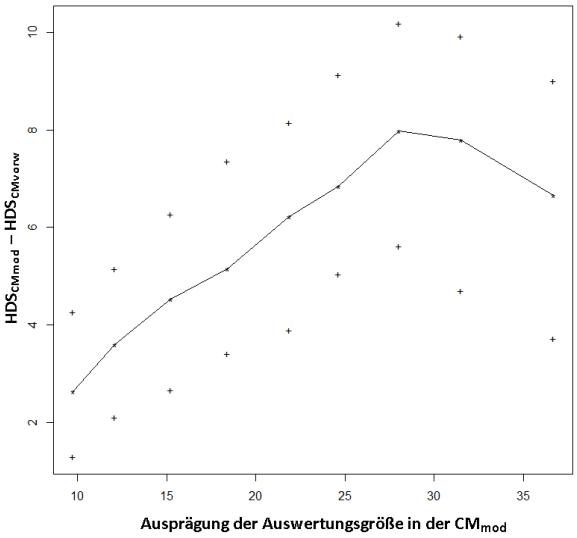
Ausführlichere Auskünfte über die Entwicklung der VG von t_0 zu t_1 in der gesamten Werteverteilung bietet der Dezilvergleich auf der Basis des HDS (*Dqcomhd*). Für die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse gilt die Darstellungs-/Interpretationsweise aus Kapitel 6.1.2.3: der HDS-Wert eines Dezils der CM_{vorw} (t_0) ist vom HDS-Wert des gleichen Dezils der CM_{mod} (t_1) subtrahiert und die Differenz ist auf der Y-Achse aufgetragen. Die X-Achse gibt die Ausprägung der Auswertungsgröße in der CM_{mod} der VG wieder.

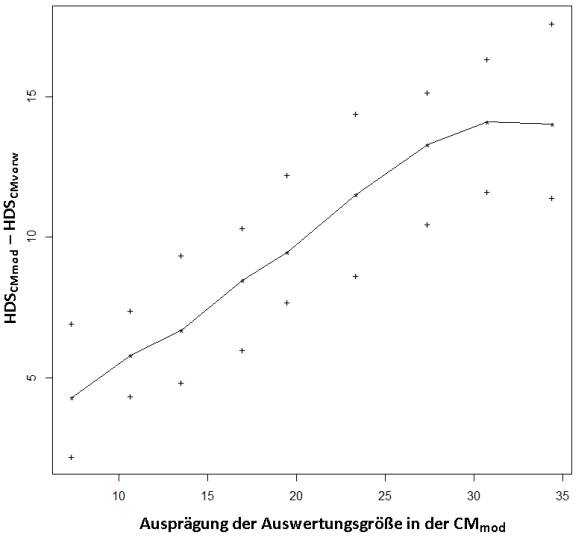


Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{ELE}$				Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{PRO}$			
Q.	$HDS_{mod} – HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} – HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	6,504	5,389; 7,779	< 0,001***	90%	3,091	1,888; 4,195	< 0,001***
80%	6,528	5,096; 7,615	< 0,001***	80%	2,191	1,429; 3,122	< 0,001***
70%	5,877	4,822; 7,080	< 0,001***	70%	1,760	0,981; 2,634	< 0,001***
60%	5,462	4,099; 6,723	< 0,001***	60%	1,658	0,921; 2,404	< 0,001***
50%	4,970	3,729; 6,297	< 0,001***	50%	1,332	0,740; 2,026	< 0,001***
40%	4,823	3,474; 6,339	< 0,001***	40%	1,324	0,641; 2,039	< 0,001***
30%	4,809	3,230; 6,297	< 0,001***	30%	1,774	0,803; 1,973	< 0,001***
20%	4,138	3,117; 5,478	< 0,001***	20%	0,452	0,012; 1,666	< 0,001***
10%	3,248	2,177; 4,506	< 0,001***	10%	0,001	$6{,}760e^{-07}$; 0,106	< 0,001***

Abbildung 39: Zeitvergleich der Dezile des K-Wert$_{ELE}$ und K-Wert$_{PRO}$ für die VG

Abbildung 39 deutet beim K-Wert$_{ELE}$ wie K-Wert$_{PRO}$ jeweils auf hochsignifikante Anstiege in allen Dezilen hin. Die bei beiden Auswertungsgrößen (nahezu) kontinuierlich größer werdenden Anstiege betragen 3,248 – 6,528 Punkte beim K-Wert$_{ELE}$ bzw. 0,001 – 3,091 Punkte beim K-Wert$_{PRO}$.

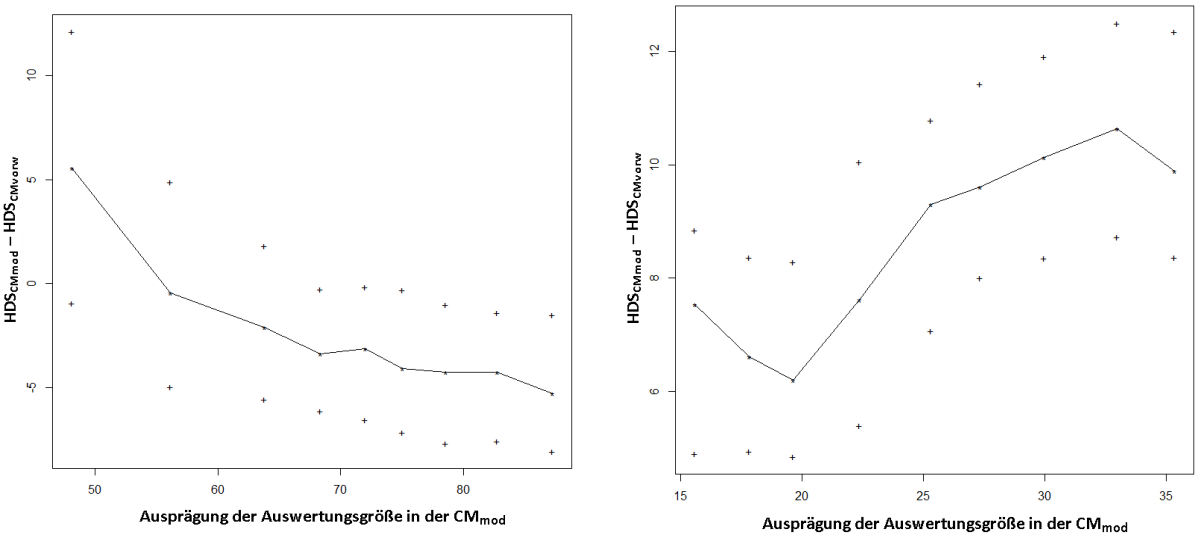




Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{BEZ}$				Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{PRO}$			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	6,654	3,722; 9,005	< 0,001***	90%	14,024	11,404; 17,616	< 0,001***
80%	7,795	4,697; 9,932	< 0,001***	80%	14,104	11,623; 16,350	< 0,001***
70%	7,984	5,622; 10,198	< 0,001***	70%	13,302	10,461; 15,176	< 0,001***
60%	6,840	5,046; 9,132	< 0,001***	60%	11,514	8,626; 14,395	< 0,001***
50%	6,224	3,898; 8,145	< 0,001***	50%	9,466	7,690; 12,226	< 0,001***
40%	5,150	3,415; 7,358	< 0,001***	40%	8,468	5,990; 10,331	< 0,001***
30%	4,527	2,659; 6,268	< 0,001***	30%	6,692	4,846; 9,363	< 0,001***
20%	3,599	2,106; 5,152	< 0,001***	20%	5,796	4,353; 7,387	< 0,001***
10%	2,626	1,300; 4,259	< 0,001***	10%	4,299	2,197; 6,942	< 0,001***

Abbildung 40: Zeitvergleich der Dezile des S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ für die VG

S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ weisen in allen Dezilen hochsignifikante Zunahmen auf (Abbildung 40). Beim S-Wert$_{BEZ}$ werden diese vom 10%-Dezil (2,626 Punkte) bis zum 70%-Dezil (7,795 Punkte) zunächst kontinuierlich größer, bevor sie danach leicht abfallen. Der durchweg hochsignifikante Zuwachs beim S-Wert$_{PRO}$ steigt mit den Dezilen kontinuierlich von 4,229 Punkten (10%-Dezil) auf 14,104 Punkten (80%-Dezil) an. Die Differenz beim 90%-Dezil ist mit 14,024 Punkten nur geringfügig kleiner als im Dezil darunter.

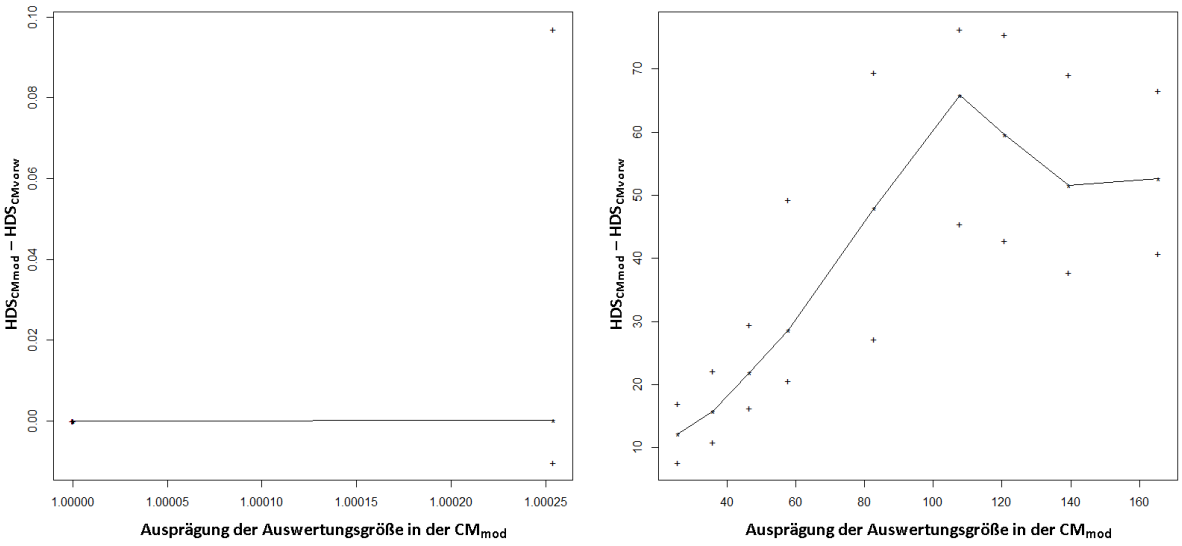


Statistik zu den Dezilen des CM-SRG				Statistik zu den Dezilen des CM-GU			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-5,290	-8,054; -1,505	0,004**	90%	9,893	8,370; 12,343	< 0,001***
80%	-4,257	-7,587; -1,397	0,003**	80%	10,640	8,731; 12,491	< 0,001***
70%	-4,268	-7,664; -1,026	0,013[a]	70%	10,133	8,356; 11,903	< 0,001***
60%	-4,070	-7,143; -0,316	0,030[b]	60%	9,609	8,008; 11,430	< 0,001***
50%	-3,113	-6,531; -0,182	0,032[c]	50%	9,302	7,073; 10,788	< 0,001***
40%	-3,358	-6,121; -0,267	0,040[d]	40%	7,618	5,400; 10,049	< 0,001***
30%	-2,092	-5,578; 1,812	0,247	30%	6,203	4,859; 8,282	< 0,001***
20%	-0,448	-4,969; 4,876	0,844	20%	6,617	4,945; 8,371	< 0,001***
10%	5,558	-0,927; 12,103	0,115	10%	7,535	4,913; 8,844	< 0,001***

p_{krit}: [a] 0,007, [b] 0,008, [c] 0,010, [d] 0,013

Abbildung 41: Zeitvergleich der Dezile des CM-SRG und CM-GU für die VG

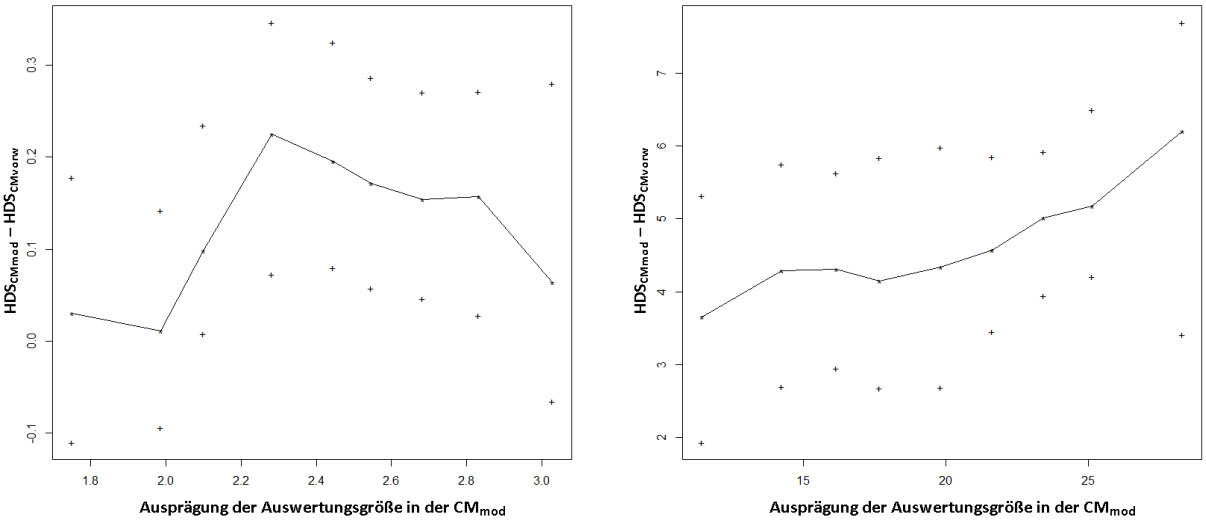
Die Entwicklung des CM-SRG in Abbildung 41 lässt im 10%-Dezil einen Anstieg um 5,558 Prozentpunkte erkennen. In allen sich anschließenden Dezilen liegt demgegenüber eine Abnahme vor, die vom 20%-Dezil mit 0,448 Prozentpunkten bis zum 90%-Dezil mit 5,290 Prozentpunkten nahezu kontinuierlich größer wird und im 80%- und 90%-Dezil jeweils ein sehr signifikantes Ausmaß erreicht. Die Entwicklung des CM-GU zeigt in allen Dezilen hochsignifikante Zunahmen um 6,203 – 10,640 gewertete Konzepte bzw. Sinneinheiten.



Statistik zu den Dezilen des CM-TS				Statistik zu den Dezilen des CM-SP			
Q.	$HDS_{mod} – HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} – HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	$2{,}472e^{-04}$	$-9{,}960e^{-03}$; 0,009	0,411	90%	52,645	40,800; 66,531	< 0,001***
80%	$4{,}334e^{-13}$	$-6{,}074e^{-09}$; $1{,}920e^{-06}$	0,639	80%	51,583	37,711; 69,097	< 0,001***
70%	0,000	0,000; $5{,}063e^{-14}$	0,927	70%	59,589	42,767; 75,408	< 0,001***
60%	0,000	0,000; 0,000	1,000	60%	65,911	45,432; 76,287	< 0,001***
50%	0,000	0,000; 0,000	1,000	50%	48,002	27,167; 69,447	< 0,001***
40%	0,000	0,000; 0,000	1,000	40%	28,639	20,573; 49,275	< 0,001***
30%	0,000	0,000; 0,000	1,000	30%	21,876	16,230; 29,511	< 0,001***
20%	0,000	0,000; 0,000	1,000	20%	15,825	10,840; 22,203	< 0,001***
10%	0,000	0,000; 0,000	1,000	10%	12,132	7,651; 17,024	< 0,001***

Abbildung 42: Zeitvergleich der Dezile des CM-TS und CM-SP für die VG

Beim CM-TS zeigen die unteren sieben Dezile keine Veränderung von t_0 zu t_1 (Abbildung 42). Erst ab dem 80%-Dezil aufwärts zeigt sich jeweils eine minimale Zunahme bei der Anzahl der Teilstrukturen, die nicht signifikant ist. Der CM-SP ist durch hochsignifikante Anstiege in allen Dezilen gekennzeichnet, die 12,132 – 65,911 Strukturpunkte betragen. Es fällt auf, dass der Anstieg bis zum 60%-Dezil kontinuierlich größer wird, bevor er bis zum 80%-Dezil wieder kleiner wird und sich dann noch einmal zum 90%-Dezil vergrößert.



Statistik zu den Dezilen des CM-VNI				Statistik zu den Dezilen des CM-KPG			
Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{mod} - HDS_{Vorw}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,063	-0,066; 0,280	0,284	90%	6,202	3,407; 7,690	< 0,001***
80%	0,157	0,027; 0,272	0,024[a]	80%	5,174	4,207; 6,488	< 0,001***
70%	0,154	0,046; 0,271	0,007**	70%	5,015	3,941; 5,920	< 0,001***
60%	0,171	0,058; 0,287	0,001***	60%	4,560	3,448; 5,853	< 0,001***
50%	0,196	0,079; 0,325	0,001***	50%	4,336	2,686; 5,982	< 0,001***
40%	0,225	0,073; 0,346	0,001***	40%	4,143	2,679; 5,843	< 0,001***
30%	0,098	0,008; 0,234	0,012[b]	30%	4,307	2,944; 5,632	< 0,001***
20%	0,011	-0,094; 0,142	0,624	20%	4,292	2,698; 5,752	< 0,001***
10%	0,030	-0,110; 0,178	0,650	10%	3,655	1,934; 5,311	< 0,001***

p_{krit}: [a] 0,013, [b] 0,010

Abbildung 43: Zeitvergleich der Dezile des CM-VNI und CM-KPG für die VG

Der CM-VNI zeigt Zunahmen in allen Dezilen (Abbildung 43), die vom 40%- bis 70%-Dezil sehr bis hochsignifikant sind. In diesem Bereich sind die größten Zuwächse von 0,154 bis 0,225 Einheiten erreichet worden. Der Dezilvergleich im Bereich des CM-KPG lässt eine hochsignifikante Zunahme in allen Dezilen erkennen, die sich nahezu kontinuierlich von 3,655 auf 6,202 Prozentpunkte vergrößert.

Insgesamt zeigen die Dezilvergleiche bei den punktbasierten Auswertungsgrößen $K\text{-}Wert_{ELE}$, $K\text{-}Wert_{PRO}$, $S\text{-}Wert_{BEZ}$, $S\text{-}WERT_{PRO}$ und CM-SP weitestgehend hochsignifikante Zunahmen. Des Weiteren in allen Dezilen hochsignifikante Verbesserungen weist der CM-GU und der CM-KPG auf; die Verbesserungen beim CM-VNI sind z.T. sehr bis hochsignifikant. Während der CM-TS zu großen Teilen unverändert geblieben ist, weisen beim CM-SRG alle Dezile bis auf das unterste (10%) Abnahmen auf, von denen jene im 80%- und 90%-Dezil sehr signifikant sind.

Wegen der univariaten Signifikanzen in Tabelle 53 wird gemäß den Ausführungen in Kapitel 5.2.4 auf einen multivariaten Vergleich auf der Ebene aller AVs (ohne den CM-KPG) verzichtet.

6.1.2.5 Entwicklung der UG im Verhältnis zur VG

Die Ergebnisse (*p*-Wert und M_γ-Differenz mit 95%-KI) mit α-Fehler-Kontrolle des im Rahmen der Überprüfung der H_2 bzw. $H_{2.1}$ bis $H_{2.7}$ zweiseitig durchgeführten univariaten Gruppenvergleichs mittels *D* sind in Tabelle 56 von oben nach unten für die R-Funktionen *lincon*, *linconbt*, *linconpb* und *pbmcp*

dargestellt. Eine positive M_γ-Differenz deutet eine höhere Ausprägung seitens der UG, eine negative eine höhere seitens der VG an.

Tabelle 56: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich mittels *D*

	K-Wert$_{D\text{-}ELE}$[a]	K-Wert$_{D\text{-}PRO}$	S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$	S-Wert$_{D\text{-}PRO}$[b]	CM-SRG$_D$
γ = 0,05	*p* = 0,006** 1,594 [0,453; 2,736]	*p* = 0,550 0,175 [-0,401; 0,751]	*p* = 0,897 0,104 [-1,478; 1,685]	*p* = 0,028* 2,564 [0,278; 4,849]	*p* = 0,643 0,656 [-2,127; 3,439]
γ = 0,10	*p* = 0,008** 1,597 [0,428; 2,767]	*p* = 0,646 0,132 [-0,434; 0,698]	*p* = 0,916 0,089 [-1,561; 1,738]	*p* = 0,026* 2,660 [0,325; 4,996]	*p* = 0,574 0,785 [-1,961; 3,532]
γ = 0,20	*p* = 0,010** 1,613 [0,392; 2,833]	*p* = 0,865 0,048 [-0,505; 0,600]	*p* = 0,794 -0,227 [-1,944; 1,490]	*p* = 0,024* 2,736 [0,372; 5,100]	*p* = 0,266 1,374 [-1,057; 3,805]
γ = 0,05	*p* = 0,008** 1,594 [0,435; 2,753]	*p* = 0,553 0,175 [-0,399; 0,749]	*p* = 0,899 0,104 [-1,475; 1,682]	*p* = 0,037* 2,564 [0,186; 4,942]	*p* = 0,656 0,656 [-2,157; 3,469]
γ = 0,10	*p* = 0,008** 1,597 [0,409; 2,786]	*p* = 0,644 0,132 [-0,423; 0,687]	*p* = 0,914 0,089 [-1,564; 1,742]	*p* = 0,030* 2,660 [0,252; 5,069]	*p* = 0,590 0,785 [-2,037; 3,607]
γ = 0,20	*p* = 0,005** 1,613 [0,452; 2,857]	*p* = 0,877 0,048 [-0,539; 0,630]	*p* = 0,808 -0,227 [-2,009; 1,524]	*p* = 0,018* 2,736 [0,446; 5,234]	*p* = 0,317 1,374 [-1,433; 3,716]
MOM	*p* = 0,010** 1,378 [0,387; 2,825]	*p* = 0,884 -0,186 [-1,242; 1,611]	*p* = 0,653 -0,544 [-3,654; 1,430]	*p* = 0,040* 3,320 [0,138; 5,907]	*p* = 0,218 2,249 [-1,260; 4;655]

	CM-GU$_D$	CM-TS$_D$	CM-SP$_D$	CM-VNI$_D$	CM-KPG$_D$[c]
γ = 0,05	*p* = 0,202 1,010 [-0,544; 2,564]	*p* = 0,699 0,009 [-0,036; 0,053]	*p* = 0,100 9,353 [-1,794; 20,499]	*p* = 0,359 -0,042 [-0,133; 0,048]	*p* < 0,001*** 4,376 [2,971; 5,780]
γ = 0,10	*p* = 0,161 1,106 [-0,443; 2,656]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,088 9,908 [-1,480; 21,296]	*p* = 0,363 -0,041 [-0,131; 0,048]	*p* < 0,001*** 4,426 [2,953; 5,899]
γ = 0,20	*p* = 0,190 1,149 [-0,577; 2,876]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,060 11,329 [-,498; 23,156]	*p* = 0,438 -0,036 [-0,126; 0,055]	*p* < 0,001*** 4,364 [2,809; 5,919]
γ = 0,05	*p* = 0,205 1,010 [-0,566; 2,586]	*p* = 0,703 0,009 [-∞; ∞]	*p* = 0,094 9,353 [-1,390; 20,095]	*p* = 0,369 -0,042 [-0,132; 0,048]	*p* < 0,001*** 4,376 [2,946; 5,805]
γ = 0,10	*p* = 0,165 1,106 [-0,473; 2,686]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,081 9,908 [-1,171; 20,988]	*p* = 0,377 -0,041 [-0,132; 0,049]	*p* < 0,001*** 4,426 [2,942; 5,911]
γ = 0,20	*p* = 0,182 1,149 [-0,528; 2,874]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,062 11,329 [-,504; 22,829]	*p* = 0,433 -0,036 [-0,130; 0,055]	*p* < 0,001*** 4,364 [2,856; 5,874]
MOM	*p* = 0,241 0,869 [-0,677; 2,666]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,067 19,462 [-1,365; 30,454]	*p* = 0,358 -0,043 [-0,143; 0,051]	*p* < 0,001*** 4,797 [3,051; 6,044]

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,010**
[b] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,040*
[c] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,001***

Wie aus den Ergebnissen in Tabelle 56 hervorgeht, deutet *D* beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ selbst nach α-Fehler-Kontrolle auf einen sehr signifikanten Gruppenunterschied hin, während beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ nach α-Fehler-Kontrolle ein signifikanter M_γ-Unterschied gegeben ist. Die Differenz beim CM-KPG$_D$ ist durchgehend hochsignifikant. Bei allen anderen Auswertungsgrößen zeigt sich auf der Basis von *D* keine signifikante M_γ-Differenz.

Inwiefern die von *lincon* in Tabelle 56 angegebenen 95%-KIs möglichst eng sind, lässt sich aus den Ergebnissen der R-Funktion *hochberg* in Tabelle 57 schließen.

Tabelle 57: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den univariaten Gruppenvergleich

	K-Wert$_{D\text{-}ELE}$	K-Wert$_{D\text{-}PRO}$	S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$	S-Wert$_{D\text{-}PRO}$	CM-SRG$_D$
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	0	0	47	242	381
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	0	0	66	287	328
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	0	0	58	294	206
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	0	0	19	153	312
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	0	0	30	144	342
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	0	0	56	142	253
	CM-GU$_D$	**CM-TS$_D$**	**CM-SP$_D$**	**CM-VNI$_D$**	**CM-KPG$_D$**
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	24	0	7.804	0	24
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	31	0	8.701	0	47
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	70	0	9.790	0	72
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	30	0	6.798	0	0
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	25	0	6.747	0	0
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	50	0	6.658	0	0

Wie Tabelle 57 zeigt, sind die für den K-Wert$_{D\text{-}ELE}$, K-Wert$_{D\text{-}PRO}$, CM-TS$_D$ und CM-VNI$_D$ die angegebenen 95%-KIs ausreichend eng und die Konfidenz in ihre Genauigkeit entsprechend hoch. Gleiches gilt beim CM-KPG$_D$ für die VG, während auf Seiten der UG weitere 24 – 72 Proband/innen notwendig sind. Eine Anzahl von bis zu 66 Proband/innen mehr wird beim S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ benötigt, während es beim CM-GU$_D$ bis zu 70 Proband/innen mehr sind. In der Konsequenz bedeutet dies, dass die von *lincon* für diese Auswertungsgrößen ausgewiesenen 95%-KIs keine ausreichende Enge besitzen und die Konfidenz dementsprechend geringer ist. Weitaus mehr zusätzliche Proband/innen sind für den S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und CM-SRG$_D$ notwendig, sodass die Konfidenz hier noch geringer ist. Angesichts der bis zu 9.790 zusätzlichen Proband/innen beim CM-SP$_D$ ist davon auszugehen, dass die 95%-KIs für diese Auswertungsgröße äußerst ungenau sind, um eine annähernd zutreffende Auskunft über den M$_\gamma$ der Gruppendifferenz zu geben.

Einen Einblick in das Ausmaß der Gruppendifferenz geben eM$_\gamma$D, d_t bzw. δ (*akp.effect*) sowie r_e (*yuenv2*) mit dem zugehörigen 95%-KI (*ees.ci*) in Tabelle 58. Per *comvar2* (95%-KI V.v.) wird ermittelt, ob d_t (Wert Null im KI) oder δ (Wert Null nicht im KI) als standardisiertes Effektstärkemaß verwendet wird.

Tabelle 58: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs mittels *D*

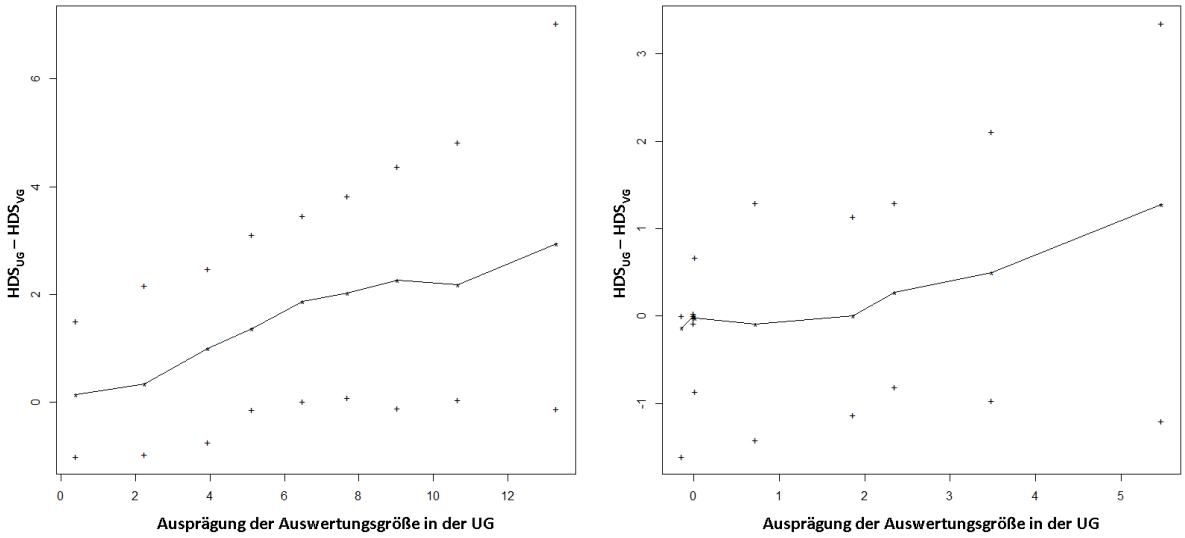
	K-Wert$_{D\text{-}ELE}$	K-Wert$_{D\text{-}PRO}$	S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$	S-Wert$_{D\text{-}PRO}$	CM-SRG$_D$
eM$_{(\gamma = .05)}$D	1,594	0,175	0,014	2,564	0,656
eM$_{(\gamma = .10)}$D	1,597	0,132	0,089	2,660	0,785
eM$_{(\gamma = .20)}$D	1,613	0,048	-0,227	2,736	1,374
95%-KI V.v.	-0,125; 20,049	-0,403; 6,561	-20,647; 41,738	-5,454; 51,259	-95,687; 89,673
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	0,355	0,077	0,017	0,287	0,061
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	0,351	0,060	0,014	0,293	0,075
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	0,357	0,024	-0,036	0,310	0,155
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,254 [0,087; 0,427]	0,063 [0,000; 0,221]	0,022 [0,000; 0,203]	0,208 [0,036; 0,383]	0,045 [0,000; 0,219]
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,246 [0,079; 0,423]	0,055 [0,000; 0,226]	0,022 [0,000; 0,202]	0,213 [0,040; 0,393]	0,057 [0,000; 0,235]
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,261 [0,078; 0,440]	0,032 [0,000; 0,222]	0,026 [0,000; 0,217]	0,225 [0,046; 0,425]	0,108 [0,000; 0,283]

	CM-GU$_D$	**CM-TS$_D$**	**CM-SP$_D$**	**CM-VNI$_D$**	**CM-KPG$_D$**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	1,010	0,009	9,353	-0,042	4,376
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	1,106	0,000	9,908	-0,041	4,426
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	1,149	0,000	11,329	-0,036	4,364
95%-KI V.v.	-8,450; 33,473	0,019; 0,410	-677,258; 837,503	-0,107; 0,148	4,520; 27,038
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	0,168	$\delta = \infty$	0,217	-0,121	δ = 0,929
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	0,186	δ = k.A.	0,225	-0,121	δ = 0,932
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	0,181	δ = k.A.	0,258	-0,108	δ = 0,947
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,124 [0,000; 0,301]	k.A. [k.A.]	0,158 [0,000; 0,321]	0,087 [0,000; 0,260]	0,522 [0,000; 0,193]
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,132 [0,000; 0,306]	k.A. [k.A.]	0,167 [0,000; 0,333]	0,090 [0,000; 0,266]	0,522 [0,000; 0,198]
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,135 [0,000; 0,309]	k.A. [k.A.]	0,185 [0,000; 0,352]	0,081 [0,000; 0,262]	0,514 [0,000; 0,207]

Wie Tabelle 58 verdeutlicht, liegen nur bei den signifikanten Auswertungsgrößen K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ sowie beim CM-KPG$_D$ nennenswerte Effekte vor; bei letzterem ist dieser (sehr) groß bei einer eM$_\gamma$D von 4,364 – 4,426 Prozentpunkten. Im getrimmten Mittel hat sich die UG um 1,594 – 1,613 Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und um 2,564 – 2,736 Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ gegenüber der VG verbessert. Erwähnenswert ist, dass die UG bei allen drei γ ebenso beim K-Wert$_{D\text{-}PRO}$, CM-GU$_D$ und CM-SP$_D$ größere Zuwächse im Rahmen der Intervention verzeichnet als die VG. Dies gilt beim S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ auch für γ = 0,05 und γ = 0,10. Größere Verbesserungen gegenüber der UG zeigt die VG nur beim S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ bei γ = 0,20 sowie durchgängig beim CM-VNI$_D$; bei γ = 0,05 ist dies ferner beim CM-TS$_D$ gegeben. Die positive eM$_\gamma$D beim CM-SRG$_D$ ist in dem Sinne zu verstehen, dass es der UG besser gelungen, ihren CM-SRG$_D$ weniger stark zu verschlechtern als die VG: ein Vergleich der eM$_\gamma$D aus Kapitel 6.1.2.3 mit dem aus Kapitel 6.1.2.4 lässt erkennen, dass die Abnahme bei der UG mit 1,514 – 1,870 Punkten weniger stark ausgefallen ist als bei der VG mit 2,307 – 3,270 Punkten[136].

Im Einklang mit der Vorgehensweise in Kapitel 6.1.2.2 werden beide Testgruppen auf der Dezilebene miteinander verglichen (*qcomhd*), um Auskünfte über die relative Entwicklung der beiden im Bereich ihrer gesamten Werteverteilung zu generieren. Die Darstellungs-/Interpretationsweise entspricht der im o.g. Kapitel, wobei sich die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse auf die Differenz zwischen dem HDS-Wert eines Dezils von *D* bei der UG und dem HDS-Wert des gleichen Dezils von *D* bei der VG beziehen. Ist die Differenz größer dem Nullwert auf der Y-Achse, beschreibt dies eine höhere Ausprägung bei der UG gegenüber der VG bezogen auf das betrachtete Dezil. Der umgekehrte Fall ist gegeben bei einer Differenz kleiner dem Nullwert. Auf der X-Achse ist *D* bei der UG, d.h. die Entwicklung der jeweiligen Auswertungsgröße von der CM$_{vorw}$ hin zur CM$_{mod}$, aufgetragen.

[136] Wie zu erkennen ist, weicht die jeweilige eM$_\gamma$D auf der Basis von *D* von der jeweiligen Differenz aus der eM$_\gamma$D bei der UG und der eM$_\gamma$D bei der VG ab. Grund hierfür sind verschiedene Berechnungsweisen.

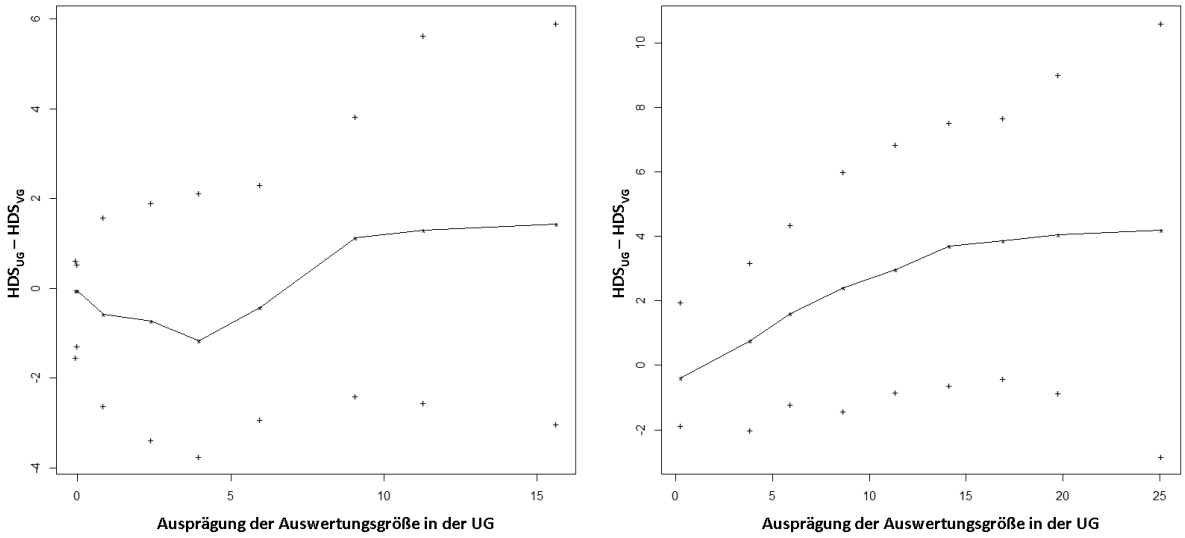


Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{D\text{-}ELE}$				Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{D\text{-}PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	2,939	-0,119; 7,029	0,010[a]	90%	1,277	-1,203; 3,347	0,172
80%	2,188	0,041; 4,825	0,007**	80%	0,495	-0,965; 2,111	0,409
70%	2,262	-0,102; 4,369	0,011[b]	70%	0,269	-0,812; 1,295	0,512
60%	2,025	0,096; 3,823	0,006**	60%	-1,943e^{-04}	-1,132; 1,134	0,946
50%	1,877	0,012; 3,454	0,010**	50%	-0,089	-1,418; 1,296	0,922
40%	1,368	-0,137; 3,104	0,026[c]	40%	-0,021	-0,861; 0,673	0,826
30%	1,001	-0,744; 2,480	0,152	30%	-4,689e^{-05}	-0,085; 0,031	0,755
20%	0,348	-0,969; 2,175	0,514	20%	-1,396e^{-06}	-0,026; 5,813e^{-06}	0,168
10%	0,150	-1,003; 1,506	0,805	10%	-0,138	-1,607; -6,330e^{-11}	0,007[a]

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,007, [c] 0,013 p_{krit}: [a] 0,006

Abbildung 44: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ bei *D*

Beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ zeigt sich in Abbildung 44, dass *D* bei der UG durchgängig höher ausfällt als bei der VG, wobei der Unterschied im 10%-Dezil mit 0,150 Punkten marginal ist, danach jedoch auf 2,939 Punkte im 90%-Dezil ansteigt. In sieben Dezilen weisen die Proband/innen der UG mindestens einen Punkt mehr auf als die aus der VG. Sehr signifikant sind die Differenzen im 50%-, 60%- und 80%-Dezil. Der Dezilvergleich beim K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ lässt ein geteiltes Bild erkennen, da auf der einen Seite die VG in allen Dezilen bis zum 60%-Dezil mehr Punkte aufweist (im 10%-Dezil bedeutet dies einen kleineren negativen Punktwert), während auf der anderen Seite die UG mehr Punkte ab dem 70%-Dezil aufwärts erreicht hat. Bei Beachtung der absoluten Höhe der Punktdifferenz zeigt sich, dass die UG in den drei zu ihren Gunsten ausgefallenen Dezilen jeweils mehr Punkte erreicht hat als die VG in jedem der anderen Dezilen. Signifikanz liegt bei keinem Dezil vor.

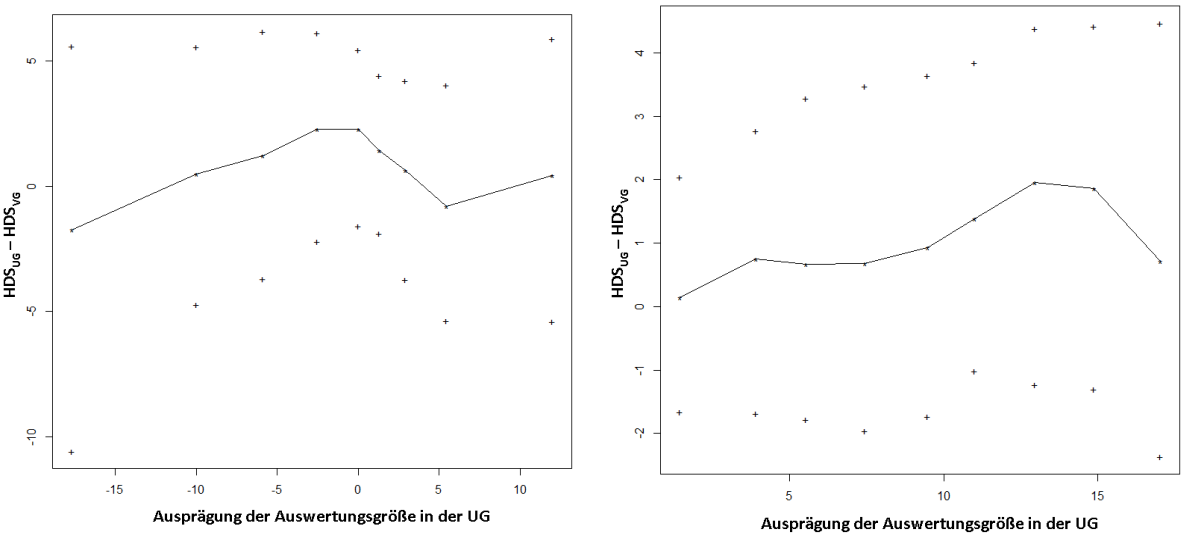


Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$				Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{D\text{-}PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} – HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	1,433	-3,019; 5,901	0,414	90%	4,197	-2,828; 10,610	0,146
80%	1,298	-2,557; 5,629	0,350	80%	4,051	-0,857; 9,010	0,017[a]
70%	1,133	-2,401; 3,824	0,371	70%	3,866	-0,417; 7,668	0,013[b]
60%	-0,423	-2,915; 2,308	0,734	60%	3,711	-0,633; 7,529	0,026[c]
50%	-1,167	-3,745; 2,114	0,300	50%	2,962	-0,846; 6,849	0,045[d]
40%	-0,733	-3,378; 1,900	0,513	40%	2,410	-1,431; 6,007	0,125
30%	-0,569	-2,620; 1,577	0,574	30%	1,618	-1,220; 4,359	0,151
20%	-0,050	-1,290; ,543	0,527	20%	0,772	-2,014; 3,179	0,509
10%	-0,054	-1,533; ,628	0,396	10%	-0,390	-1,875; 1,969	0,698

p_{krit}: [a] 0,006, [b] 0,006, [c] 0,007, [d] 0,008

Abbildung 45: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ bei *D*

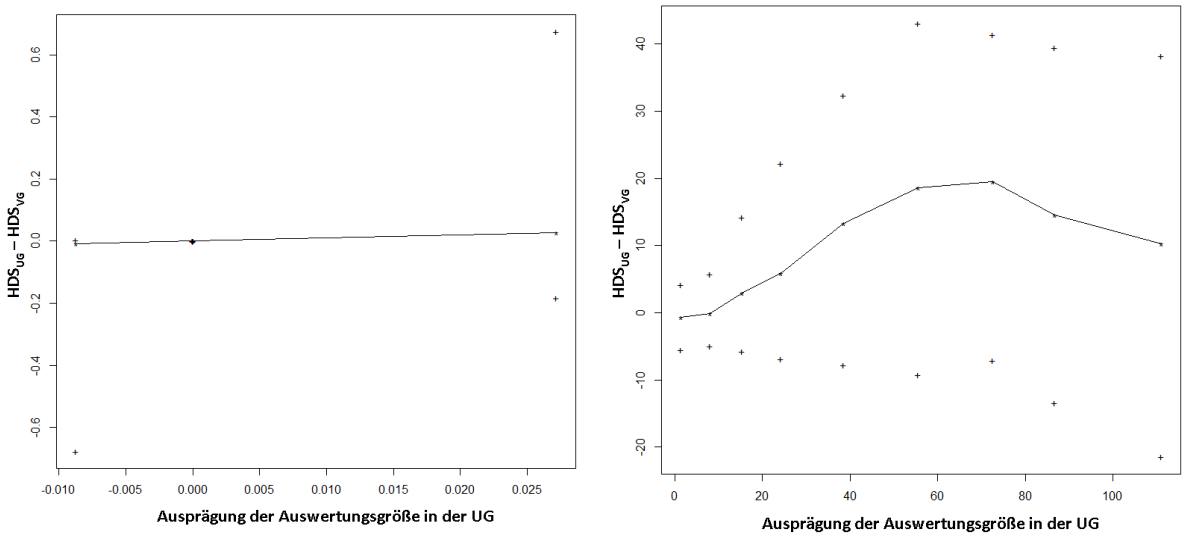
Bezüglich des S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ lässt der Dezilvergleich in Abbildung 45 ein geteiltes Bild erkennen: Wie beim K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ liegen bis zum 60%-Dezil höhere Punktwerte bei *D* auf Seiten der VG vor (im 10%-Dezil betrifft dies einen kleineren negativen Punktwert). Umgekehrt ist es die UG, die ab dem 70%-Dezil aufwärts mehr Punkte bei *D* hat. In diesen drei Dezilen hat die UG jeweils mehr als einen Punkt mehr erreicht. Die VG hat hingegen nur im Bereich des 50%-Dezils über einen Punkt mehr erzielt, ansonsten sind es 0,050 – 0,733 Punkte mehr. Signifikant ist keine der o.g. Differenzen. Gleiches gilt für die Unterschiede in den Dezilen des S-Wert$_{D\text{-}PRO}$, in denen bis auf das unterste Dezil stets die UG mehr Punkte erzielt hat. Folglich sind es lediglich die Proband/innen mit dem niedrigsten S-Wert$_{D\text{-}PRO}$, die auf Seiten der VG einen höheren Wert als die der UG aufweisen. Auffällig ist die kontinuierliche Vergrößerung der Differenz ab dem 30%-Dezil, die von 1,618 Punkte auf 4,197 Punkte im obersten Dezil ansteigt.



Statistik zu den Dezilen des CM-SRG$_D$				Statistik zu den Dezilen des CM-GU$_D$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,419	-5,386; 5,888	0,927	90%	0,716	-2,364; 4,466	0,532
80%	-0,811	-5,373; 4,042	0,723	80%	1,858	-1,299; 4,417	0,093
70%	0,631	-3,716; 4,213	0,707	70%	1,963	-1,228; 4,389	0,089
60%	1,420	-1,876; 4,422	0,167	60%	1,383	-1,011; 3,851	0,114
50%	2,286	-1,604; 5,441	0,098	50%	0,927	-1,731; 3,643	0,285
40%	2,271	-2,201; 6,100	0,179	40%	0,682	-1,963; 3,474	0,541
30%	1,216	-3,706; 6,169	0,455	30%	0,668	-1,783; 3,288	0,512
20%	0,495	-4,709; 5,551	0,865	20%	0,752	-1,688; 2,766	0,400
10%	-1,747	-10,572; 5,590	0,569	10%	0,144	-1,658; 2,044	0,883

Abbildung 46: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_D$ und CM-GU$_D$ bei *D*

Mit Blick auf den CM-SRG$_D$ in Abbildung 46 ist zu beachten, dass sich die Hälfte der Dezile wegen der negativen Werte auf der X-Achse auf Proband/innen der UG bezieht, deren CM-SRG$_D$ sich verringert hat; die andere Hälfte repräsentiert Proband/innen der UG, die ihren CM-SRG$_D$ in der Intervention vergrößern konnten. Vor diesem Hintergrund deutet die negative Differenz im 10%-Dezil darauf hin, dass der CM-SRG$_D$ der betreffenden Proband/innen der VG weniger stark abgenommen hat als bei denen der UG. Die positiven Differenzen beim 20%- bis 50%-Dezil deuten umgekehrt an, dass der CM-SRG$_D$ bei den Proband/innen der VG stärker abgenommen hat als bei denen der UG. Für das 60%-Dezil liegen eine Steigerung bei der UG und eine Abnahme bei der VG vor (Differenz von 2,286 Punkten). Im Bereich des 60%-, 70%- und 90%-Dezils konnte die UG einen größeren Hinzugewinn an Prozentpunkten erzielen als die VG, die ihrerseits im Bereich des 80%-Dezils eine größere Verbesserung erreicht hat. Alle Unterschiede sind nicht signifikant. Der CM-GU$_D$ zeigt in allen Dezilen höhere Werte bei der UG, wobei die Differenz von 0,144 gewerteten Konzepten/Sinneinheiten im 10%-Dezil auf bis zu 1,963 gewertete Konzepte/Sinneinheiten im 70%-Dezil ansteigt, bevor ein Abfall auf 0,716 Konzepte/Sinneinheiten im 90%-Dezil erfolgt. Wie beim CM-SRG$_D$ bestehen auch bei der dieser Auswertungsgröße keine signifikanten Abweichungen zwischen den Gruppen.

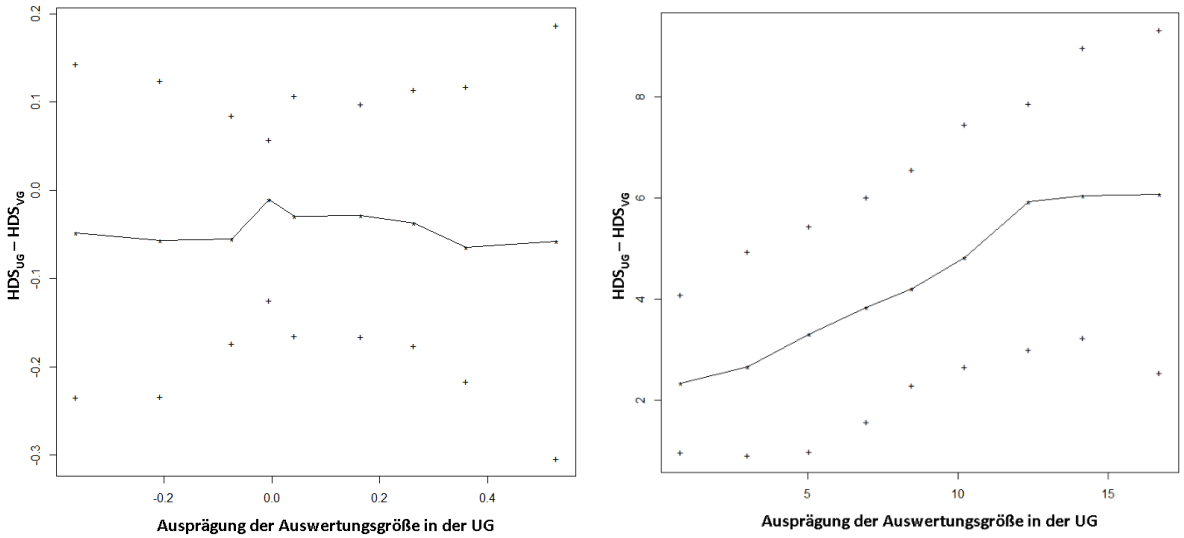


Statistik zu den Dezilen des CM-TS_D				Statistik zu den Dezilen des CM-SP_D			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,027	-0,183; 0,675	0,331	90%	10,286	-21,391; 38,234	0,454
80%	$1{,}128e^{-08}$	$-1{,}926e^{-06}$; $6{,}394e^{-04}$	0,436	80%	14,536	-13,379; 39,405	0,150
70%	$-5{,}814e^{-88}$	$-5{,}063e^{-14}$; $4{,}346e^{-11}$	0,876	70%	19,512	-7,132; 41,323	0,038[a]
60%	$-1{,}047e^{-67}$	$-3{,}376e^{-43}$; $3{,}331e^{-16}$	0,169	60%	18,614	-9,290; 43,041	0,080
50%	$-8{,}585e^{-50}$	$-4{,}433e^{-28}$; $3{,}339e^{-48}$	0,123	50%	13,307	-7,759; 32,366	0,110
40%	$-4{,}100e^{-34}$	$-7{,}749e^{-19}$; $1{,}230e^{-33}$	0,122	40%	5,844	-6,869; 22,144	0,259
30%	$-9{,}372e^{-21}$	$-4{,}457e^{-10}$; $4{,}799e^{-21}$	0,109	30%	2,943	-5,733; 14,147	0,424
20%	$-4{,}854e^{-10}$	$-6{,}394e^{-04}$; $1{,}049^{-10}$	0,118	20%	-0,112	-4,936; 5,747	0,995
10%	-0,009	$-6{,}765$; $2{,}544e^{-06}$	0,070	10%	-0,632	-5,583; 4,120	0,774

p_{krit}: [a]0,006

Abbildung 47: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS_D und CM-SP_D bei *D*

Die Veränderungen auf der Dezilebene des CM-TS_D können Abbildung 47 entnommen werden. Es ist zu beachten, dass sich ein Teil der Dezile auf eine Abnahme der Teilstrukturen (negative Werte auf der X-Achse) bezieht, während der andere Teil auf eine gestiegene Anzahl an Teilstrukturen hindeutet (positive Werte auf der X-Achse). Die absoluten Differenzen sind äußerst gering. Einzige nennenswerte Ausnahme ist das 90%-Dezil, dessen positiver Wert darauf hindeutet, dass die CMs der Proband/innen der UG in diesem Bereich um 0,027 Teilstrukturen mehr zugelegt haben als die CMs der VG. Folglich sind die CMs der UG in diesem Bereich etwas mehr fragmentiert als die der VG. Es liegen keine signifikanten Unterschiede vor. Bezüglich des CM-SP_D ist davon auszugehen, dass die Proband/innen der VG in den beiden untersten Dezilen stärker zugelegt haben als die der UG. Allerdings ist die Differenz in diesen Dezilen wesentlich kleiner als die geringste Differenz in allen übrigen Dezilen, die zugunsten der UG ausfallen. Ab dem 30%-Dezil aufwärts haben die Proband/innen der UG durchgehend einen höheren CM-SP_D, wobei die Differenz von 2,943 Strukturpunkte im 30%-Dezil auf 19,512 Strukturpunkte im 70%-Dezil kontinuierlich ansteigt, bevor sie wieder abnimmt und im 90%-Dezil 10,286 Strukturpunkte mehr beträgt. Signifikant ist keiner der Unterschiede.



Statistik zu den Dezilen des CM-VNI$_D$				Statistik zu den Dezilen des CM-KPG$_D$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,057	-0,304; 0,187	0,542	90%	6,074	2,539; 9,314	< 0,001***
80%	-0,065	-0,217; 0,117	0,365	80%	6,036	3,239; 8,968	< 0,001***
70%	-0,037	-0,176; 0,114	0,511	70%	5,928	2,999; 7,867	< 0,001***
60%	-0,028	-0,166; 0,098	0,671	60%	4,816	2,659; 7,447	< 0,001***
50%	-0,029	-0,164; 0,107	0,684	50%	4,205	2,286; 6,552	< 0,001***
40%	-0,011	-0,125; 0,058	0,388	40%	3,839	1,571; 6,016	< 0,001***
30%	-0,055	-0,174; 0,085	0,307	30%	3,302	0,984; 5,437	0,001***
20%	-0,056	-0,234; 0,125	0,409	20%	2,663	0,916; 4,932	< 0,001***
10%	-0,048	-0,235; 0,143	0,508	10%	2,344	0,968; 4,090	0,001***

Abbildung 48: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI$_D$ und CM-KPG$_D$ bei *D*

Der in Abbildung 48 dargestellte Dezilvergleich beim CM-VNI$_D$ lässt erkennen, dass sich das 10%- bis 30%-Dezil jeweils auf negative Werte der X-Achse bezieht, die ihrerseits eine Abnahme des CM-VNI$_D$ bei den betreffenden Proband/innen der UG repräsentieren. Dies bedeutet, dass der CM-VNI$_D$ bei der UG im Bereich dieser Dezile stärker abgenommen hat als bei der VG. Beim 40%-Dezil liegen eine Abnahme bei den Proband/innen der UG und eine Zunahme bei denen der VG vor, die rechnerisch eine Differenz von -0,011 Einheiten ergibt. Oberhalb des 40%-Dezils fallen alle Differenzen zugunsten der VG aus, d.h. bei den Proband/innen dieser Gruppe hat sich der CM-VNI$_D$ stärker vergrößert als bei denen der UG. Alle Differenzen sind nicht signifikant. Wie die Dezile des CM-KPG$_D$ zeigen, weist die UG in allen Dezilen einen hochsignifikant höheren CM-KPG$_D$ auf. Die Differenz gegenüber der VG nimmt von 2,344 Prozentpunkte im untersten Dezil auf 6,074 Prozentpunkte im obersten Dezil zu.

Im Rahmen der Dezilvergleiche zeigt sich, dass bei drei Auswertungsgrößen (K-Wert$_{D\text{-}ELE}$,CM-GU$_D$ und CM-KPG$_D$) die UG durchweg höhere Werte aufweist als die VG; beim CM-KPG$_D$ sind die Differenzen in jedem Dezil hochsignifikant und beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bei drei Dezilen sehr signifikant. Der S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ fällt bis auf das unterste Dezil vollständig zugunsten der UG aus. Beim CM-SP$_D$ haben die Proband/innen der UG ab dem 30%-Dezil aufwärts wesentlich mehr Strukturpunkte hinzugewonnen als die der VG, denen dies nur marginal in den untersten beiden Dezilen gelungen ist. Beim K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$ haben die Proband/innen der VG bei der Mehrheit der Dezile jeweils höhere Werte. Beim CM-SRG$_D$ besteht ein heterogenes Bild mit stärkeren Zu- und Abnahmen auf beiden Seiten, wobei die Mehrheit

der Dezile zugunsten der UG ausfällt. Die einzige Auswertungsgröße, die vollständig zugunsten der VG ausfällt ist der CM-VNI_D, wobei dies in Bezug auf manche Dezile lediglich bedeutet, dass die Abnahme in dieser Gruppe weniger groß ist. Die Veränderungen beim CM-TS_D sind nur marginal.

Obschon die Testergebnisse des univariaten Gruppenvergleichs in Tabelle 56 im Bereich des K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ sowie CM-KPG_D eine signifikant unterschiedliche Entwicklung andeuten, werden – auch hier ohne den CM-KPG_D und unter Ausschluss des CM-TS_D – multivariate Hypothesentests auf der Ebene aller AVs durchgeführt. Begründet wird dies mit den in Tabelle 58 bis auf den CM-VNI_D durchweg zugunsten einer Gruppe (UG) ausgefallenen Effekten. Es wird beabsichtigt, einen hierdurch möglicherweise hervorgerufenen signifikanten Entwicklungsunterschied auf der Ebene aller AVs aufzudecken. Nachfolgend sind die multivariaten Testergebnisse dargestellt:

- *MULtr.anova*/*MULAOVp*:
  - $\gamma = 0{,}05$: $p = 0{,}022$* (Teststatistik: 19,209; kritischer Wert: 16,450)
  - $\gamma = 0{,}10$: $p = 0{,}067$ (Teststatistik: 15,609; kritischer Wert: 16,559)
  - $\gamma = 0{,}20$: $p = 0{,}063$ (Teststatistik: 16,124; kritischer Wert: 16,922)
- *depthg2*: KI = [-0,284; -0,012]
- *mulwmwv2*[137]:
  - DGM ($r_e = 0{,}186$): unterer kritischer Wert (0,287) < MV-Differenz (0,451) < oberer kritischer Wert (0,691)
  - MMD ($r_e = 0{,}193$): unterer kritischer Wert (0,364) < MV-Differenz (0,444) < oberer kritischer Wert (0,644)

Wegen der einseitigen Richtung der Effekte bei den meisten Auswertungsgrößen erscheint der von *depthg2* angedeutete signifikante Gruppenunterschied (Wert Null liegt nicht im KI) auf der Ebene aller AVs zugunsten der UG auszufallen. Die von *MULtr.anova*/*MULAOVp* ermittelten *p*-Werte zeigen ein heterogenes Bild: während bei $\gamma = 0{,}05$ Signifikanz besteht, ist dies bei $\gamma = 0{,}10$ und $\gamma = 0{,}20$ nicht der Fall. Die Ergebnisse von *depthg2* und *MULtr.anova*/*MULAOVp* deuten zusammen darauf hin, dass bei ausbleibender bzw. schwacher Trimmung ($\gamma = 0{,}05$) eine signifikante Differenz besteht, die mit zunehmendem Trimmungsgrad nicht mehr gegeben ist. Dem widersprechen die Ergebnisse von *mulwmwv2* ohne Trimmung. Es liegen somit inkonsistente Ergebnisse[138] vor, die es nicht ermöglichen, eindeutig auf das Vorliegen eines signifikanten Unterschieds auf der Ebene aller AVs (ohne den CM-KPG_D) zu schließen.

6.1.2.6 Gruppenvergleich zu t_1 (CM_{mod})

Die in Tabelle 45 vorgestellten Kennwerte der Auswertungsgrößen zu t_1 sind zweiseitig auf signifikante Differenzen zwischen den Testgruppen hin untersucht worden. Die Testergebnisse des univariaten Gruppenvergleichs zu t_1 (*p*-Wert und M_γ-Differenz mit 95%-KI) mit α-Fehler-Kontrolle liefert Tabelle 59 von oben nach unten für die R-Funktionen *lincon*, *linconbt*, *linconpb* und *pbmcp*. Eine positive M_γ-Differenz steht für eine höhere Ausprägung in der UG, eine negative für eine höhere in der VG.

[137] Der multivariate Vergleich auf der Grundlage des MCD konnte aufgrund von Dateneigenschaften nicht realisiert werden.
[138] Ein Grund hierfür können auch hier die Korrelationen zwischen den verbliebenen Auswertungsgrößen sein.

Tabelle 59: *p*-Werte und M_γ-Differenzen mit 95%-KI für den univariaten Gruppenvergleich zu t_1

	K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$	K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$	S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$	S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$[a]	CM-SRG$_{mod}$
γ = 0,05	*p* = 0,206 1,153 [-0,640; 2,947]	*p* = 0,252 0,669 [-0,479; 1,818]	*p* = 0,109 -2,261 [-5,030; 0,508]	*p* = 0,025* 3,606 [0,465; 6,747]	*p* = 0,158 -3,099 [-7,409; 1,212]
γ = 0,10	*p* = 0,209 1,138 [-0,641; 2,918]	*p* = 0,365 0,513 [-0,602; 1,627]	*p* = 0,111 -2,320 [-5,178; 0,538]	*p* = 0,031* 3,555 [0,324; 6,787]	*p* = 0,189 -2,855 [-7,126; 1,416]
γ = 0,20	*p* = 0,316 0,994 [-0,958; 2,945]	*p* = 0,583 0,333 [-0,863; 1,530]	*p* = 0,115 -2,545 [-5,716; 0,625]	*p* = 0,063 3,528 [-0,196; 7,252]	*p* = 0,164 -3,210 [-7,740; 1,321]
γ = 0,05	*p* = 0,208 1,153 [-0,634; 2,941]	*p* = 0,255 0,669 [-0,478; 1,817]	*p* = 0,098 -2,261 [-4,925; 0,403]	*p* = 0,024* 3,606 [0,522; 6,690]	*p* = 0,160 -3,099 [-7,405; 1,208]
γ = 0,10	*p* = 0,215 1,138 [-0,659; 2,935]	*p* = 0,371 0,513 [-0,609; 1,634]	*p* = 0,102 -2,320 [-5,092; 0,452]	*p* = 0,030* 3,555 [0,380; 6,730]	*p* = 0,193 -2,855 [-7,088; 1,378]
γ = 0,20	*p* = 0,330 0,994 [-0,918; 2,961]	*p* = 0,552 0,333 [-0,760; 1,550]	*p* = 0,092 -2,545 [-5,606; 0,359]	*p* = 0,046* 3,528 [0,078; 7,048]	*p* = 0,165 -3,210 [-7,433; 1,287]
MOM	*p* = 0,287 0,817 [-0,837; 2,925]	*p* = 0,624 0,192 [-0,846; 1,515]	*p* = 0,068 -3,278 [-6,149; 0,168]	*p* = 0,040* 3,546 [0,177; 6,606]	*p* = 0,196 -3,284 [-7,826; 1,585]

	CM-GU$_{mod}$	CM-TS$_{mod}$	CM-SP$_{mod}$	CM-VNI$_{mod}$	CM-KPG$_{mod}$[b]
γ = 0,05	*p* = 0,807 0,293 [-20,076; 20,663]	*p* = 0,192 0,035 [-0,018; 0,087]	*p* = 0,605 3,955 [-11,103; 19,014]	*p* = 0,183 -0,089 [-0,221; 0,043]	*p* < 0,001*** 4,196 [2,067; 6,325]
γ = 0,10	*p* = 0,788 0,322 [-20,039; 20,682]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,607 4,235 [-11,994; 20,464]	*p* = 0,158 -0,097 [-0,232; 0,038]	*p* < 0,001*** 4,269 [2,060; 6,478]
γ = 0,20	*p* = 0,690 0,502 [-10,982; 20,986]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,672 3,950 [-14,457; 22,358]	*p* = 0,125 -0,109 [-0,248; 0,031]	*p* < 0,001*** 4,226 [1,896; 6,556]
γ = 0,05	*p* = 0,804 0,293 [-20,041; 20,628]	*p* = 0,188 0,035 [-∞; ∞]	*p* = 0,597 3,955 [-10,822; 18,733]	*p* = 0,188 -0,089 [-0,221; 0,042]	*p* < 0,001*** 4,196 [2,024; 6,368]
γ = 0,10	*p* = 0,781 0,322 [-10,998; 20,641]	*p* = k.A. k.A. [k.A.]	*p* = 0,600 4,235 [-11,558; 20,028]	*p* = 0,170 -0,097 [-0,232; 0,039]	*p* < 0,001*** 4,269 [2,034; 6,504]
γ = 0,20	*p* = 0,730 0,502 [-10,994; 20,983]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,661 3,950 [-13,732; 21,786]	*p* = 0,137 -0,109 [-0,252; 0,032]	*p* < 0,001*** 4,226 [1,896; 6,567]
MOM	*p* = 0,862 0,088 [-20,301; 20,946]	*p* = 1,000 0,000 [0,000; 0,000]	*p* = 0,675 2,508 [-12,747; 24,917]	*p* = 0,216 -0,086 [-0,233; 0,043]	*p* = 0,001*** 4,077 [1,897; 6,440]

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,054, *p* = 0,054, *p* = 0,063, *p* = 0,054, *p* = 0,054, *p* = 0,054, *p* = 0,054
[b] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,001***

Die Ergebnisse in Tabelle 59 deuten auf keinen signifikanten Unterschied bei neun von 10 Auswertungsgrößen hin. Lediglich beim CM-KPG$_{mod}$ ist nach α-Fehler-Kontrolle ein hochsignifikanter M_γ-Unterschied festzustellen, der angesichts des positiven Werts zugunsten der UG ausfällt. Der S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ weist nach α-Fehler-Kontrolle keine Signifikanz auf, liegt jedoch im unmittelbaren Umfeld von α = 0,05. Bei einer geringeren Testanzahl kann daher u.U. Signifikanz vorliegen.

Die von der R-Funktion *hochberg* ausgegebenen Werte in Tabelle 60 lassen erkennen, wie viele Proband/innen bei den einzelnen Auswertungsgrößen zusätzlich nötig sind, damit die von *lincon* in Tabelle 59 angegebenen 95%-KIs möglichst eng ausfallen.

Tabelle 60: Zusätzlich benötigte Proband/innenzahl für den Gruppenvergleich zu t_1

	K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$	**K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$**	**S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$**	**S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$**	**CM-SRG$_{mod}$**
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	110	0	332	579	1.170
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	80	0	329	640	1.106
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	96	0	402	874	1.222
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	45	0	345	376	831
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	68	0	410	396	865
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	117	0	536	548	978
	CM-GU$_{mod}$	**CM-TS$_{mod}$**	**CM-SP$_{mod}$**	**CM-VNI$_{mod}$**	**CM-KPG$_{mod}$**
UG$_{(\gamma = 0,05)}$	263	0	14.382	0	270
UG$_{(\gamma = 0,10)}$	272	0	16.692	0	291
UG$_{(\gamma = 0,20)}$	225	0	22.368	0	330
VG$_{(\gamma = 0,05)}$	178	0	12.467	0	53
VG$_{(\gamma = 0,10)}$	170	0	14.765	0	77
VG$_{(\gamma = 0,20)}$	265	0	17.604	0	92

Anhand der Werte in Tabelle 60 ist ersichtlich, dass die Gruppengröße der UG wie VG beim K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$, CM-TS$_{mod}$ und CM-VNI$_{mod}$ ausgereicht hat, sodass die von *lincon* angegebenen 95%-KIs bei diesen Auswertungsgrößen ausreichend eng sind und eine hohe Konfidenz in ihre Genauigkeit besteht. Bei allen anderen Auswertungsgrößen sind ausgehend von den jeweils vorliegenden Verteilungen zusätzliche Proband/innen notwendig. Diesbezüglich auffällig ist die äußerst hohe Anzahl beim CM-SP$_{mod}$. Auch beim CM-SRG$_{mod}$ ist v.a. im Bereich der UG eine größere Anzahl erforderlich. Vor dem Hintergrund der Bedeutung möglichst enger 95%-KIs lassen diese Werte erkennen, dass die Konfidenz in die Ergebnisse von *lincon* für die nachfolgenden Auswertungsgrößen geringer ist und in der dargestellten Reihenfolge weiter abnimmt: K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ > CM-KPG$_{mod}$ / CM-GU$_{mod}$ > S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$ > S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ >> CM-SRG$_{mod}$ >>> CM-SP$_{mod}$.

In Tabelle 61 sind eM$_\gamma$D sowie d_t bzw. δ (*akp.effect*) und r_e (*yuenv2*) mit 95%-KI (*ees.ci*) angegeben. Anhand des 95%-KIs des robusten Varianzvergleichs (95%-KI V.v.) per *comvar2*wird über die Verwendung von d_t (Wert Null im KI) oder δ (Wert Null nicht im KI) als Effektstärkemaß entschieden.

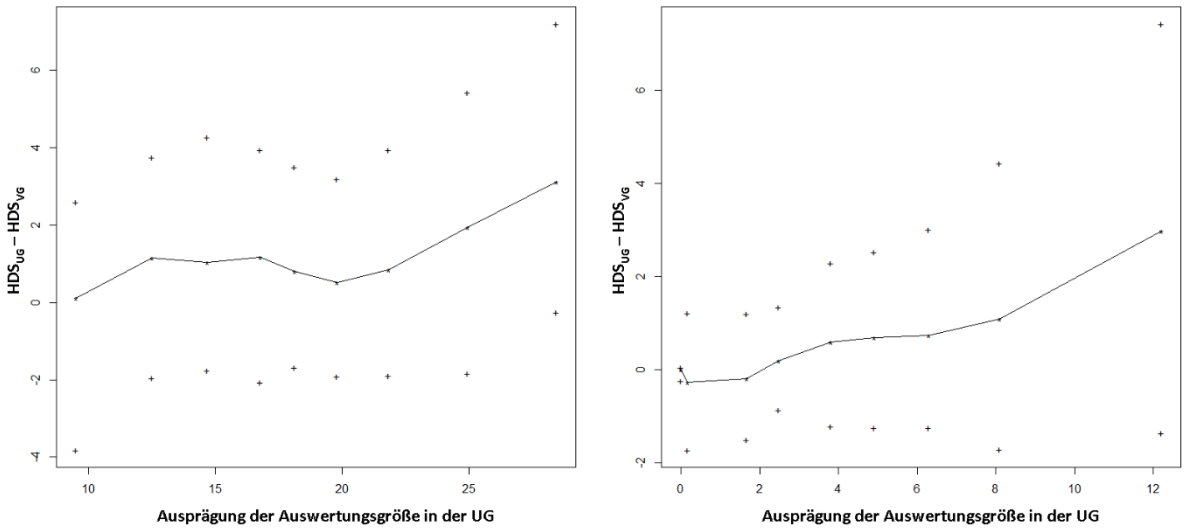
Tabelle 61: Effektstärken des univariaten Gruppenvergleichs zu t_1

	K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$	**K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$**	**S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$**	**S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$**	**CM-SRG$_{mod}$**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	1,154	0,670	-2,261	3,606	-3,099
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	1,138	0,512	-2,319	3,555	-2,855
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	0,994	0,333	-2,545	3,528	-3,209
95%-KI V.v.	2,092; 40,408	-0,834; 19,614	-75,432; 80,262	11,022; 101,078	-54,057; 222,819
$d_{t\,(\gamma = 0,05)}$	δ = 0,187	0,147	-0,212	δ = 0,328	-0,184
$d_{t\,(\gamma = 0,10)}$	δ = 0,174	0,118	-0,214	δ = 0,321	-0,173
$d_{t\,(\gamma = 0,20)}$	δ = 0,139	0,075	-0,221	δ = 0,289	-0,192
$r_{e\,(\gamma = 0,05)}$	0,122 [0,000; 0,302]	0,109 [0,000; 0,268]	0,150 [0,000; 0,312]	0,209 [0,034; 0,384]	0,133 [0,000; 0,290]
$r_{e\,(\gamma = 0,10)}$	0,123 [0,000; 0,305]	0,088 [0,000; 0,258]	0,151 [0,000; 0,322]	0,203 [0,029; 0,374]	0,131 [0,000; 0,301]
$r_{e\,(\gamma = 0,20)}$	0,101 [0,000; 0,287]	0,055 [0,000; 0,244]	0,164 [0,000; 0,335]	0,190 [0,000; 0,376]	0,143 [0,000; 0,309]

	CM-GU$_{mod}$	**CM-TS$_{mod}$**	**CM-SP$_{mod}$**	**CM-VNI$_{mod}$**	**CM-KPG$_{mod}$**
eM$_{(\gamma = 0,05)}$D	0,293	0,035	3,955	-0,089	4,196
eM$_{(\gamma = 0,10)}$D	0,322	0,000	4,235	-0,097	4,269
eM$_{(\gamma = 0,20)}$D	0,503	0,000	3,951	-0,109	4,226
95%-KI V.v.	-3,477; 85,346	0,011; 0,621	-372,288; 1.612,654	-0,106; 0,240	30,715; 83,386
$d_{t\ (\gamma = 0,05)}$	0,032	$\delta = \infty$	0,068	-0,175	$\delta = 0,663$
$d_{t\ (\gamma = 0,10)}$	0,035	δ = k.A.	0,068	-0,187	$\delta = 0,638$
$d_{t\ (\gamma = 0,20)}$	0,055	δ = k.A.	0,058	-0,214	$\delta = 0,627$
$r_{e\ (\gamma = 0,05)}$	0,023 [0,000; 0,212]	k.A. [k.A.]	0,044 [0,000; 0,231]	0,125 [0,000; 0,297]	0,349 [0,000; 0,193]
$r_{e\ (\gamma = 0,10)}$	0,027 [0,000; 0,218]	k.A. [k.A.]	0,046 [0,000; 0,233]	0,131 [0,000; 0,303]	0,360 [0,000; 0,195]
$r_{e\ (\gamma = 0,20)}$	0,039 [0,000; 0,228]	k.A. [k.A.]	0,040 [0,000; 0,234]	0,148 [0,000; 0,340]	0,355 [0,000; 0,204]

Während eM$_\gamma$D beim K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$, K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$, S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$, CM-GU$_{mod}$, CM-SP$_{mod}$ und CM-KPG$_{mod}$ zugunsten der UG ausgeprägt ist, weisen S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$, CM-SRG$_{mod}$ und CM-VNI$_{mod}$ auf höhere Wert bei der VG hin. Der CM-KPG$_{mod}$ ist eine Ausnahme, da er als einzige Auswertungsgröße einen moderaten bis großen Effekt bzw. eine größere eM$_\gamma$D (4,196 – 4,269 Punkte) zugunsten der UG aufweist.

Ein ausführlicheres Bild bezüglich der Verhältnisse zu t_1 bei den einzelnen Auswertungsgrößen ist über den Dezilvergleich auf der Basis des HDS möglich (*qcomhd*). Für die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse gilt die Darstellungs-/Interpretationsweise aus Kapitel 6.1.2.2: Ist die Differenz aus dem HDS-Wert eines Dezils der UG und dem HDS-Wert des gleichen Dezils der VG größer als der Nullwert auf der Y-Achse, drückt dies eine höhere Ausprägung der Auswertungsgröße bei diesem Dezil in der UG aus. Der umgekehrte Fall gilt für eine Differenz, die kleiner dem Nullwert ist.

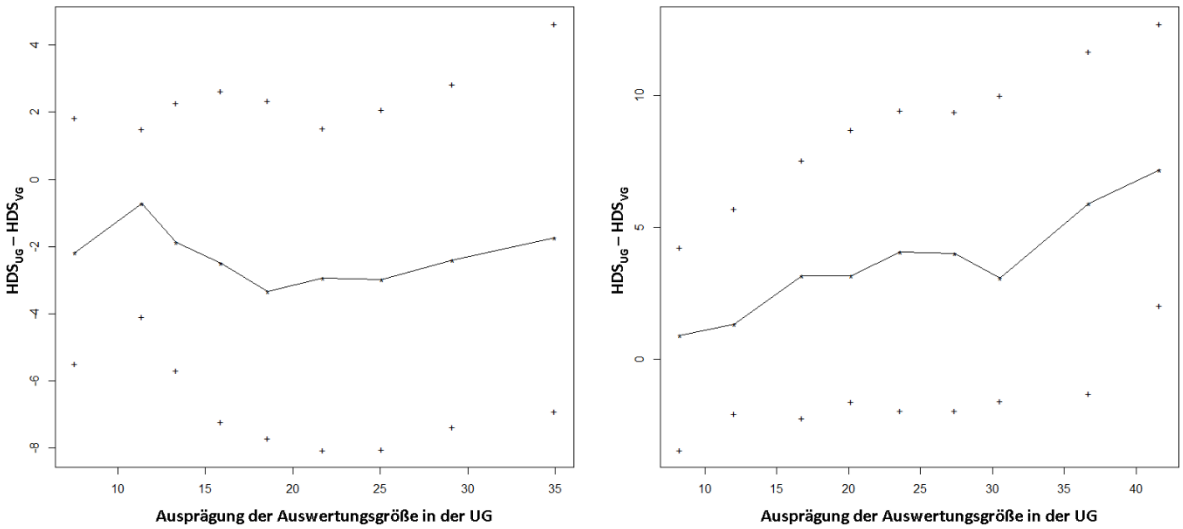


Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$				Statistik zu den Dezilen des K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	3,117	-0,261; 7,197	0,013[a]	90%	2,977	-1,360; 7,418	0,056
80%	1,938	-1,832; 5,434	0,175	80%	1,084	-1,705; 4,429	0,292
70%	0,846	-1,883; 3,942	0,465	70%	0,733	-1,245; 3,010	0,337
60%	0,523	-1,912; 3,200	0,657	60%	0,693	-1,246; 2,522	0,344
50%	0,802	-1,684; 3,499	0,436	50%	0,590	-1,214; 2,482	0,404
40%	1,168	-2,071; 3,934	0,315	40%	0,187	-0,861; 1,352	0,719
30%	1,030	-1,766; 4,265	0,378	30%	-0,186	-1,505; 1,197	0,759
20%	1,154	-1,952; 3,750	0,315	20%	-0,278	-1,721; 1,218	0,611
10%	0,117	-3,813; 2,587	0,960	10%	$-0{,}667e^{-04}$	-0,236; 0,056	0,496

p_{krit}: [a] 0,006

Abbildung 49: Gruppenvergleich der Dezile des K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ zu t_1

Wie die Ergebnisse für den K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ und K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ in Abbildung 49 zeigen, liegt der Unterschied zwischen den Proband/innen der UG und denen der VG, bis auf die untersten drei Dezile des K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$, durchgängig auf Seiten derjenigen aus der UG. Folglich weist diese Gruppe in allen Dezilen des K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ sowie beim K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ ab dem 40%-Dezil aufwärts höhere Werte auf, wobei die größte Differenz mit 3,117 Punkten (K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$) bzw. 2,977 Punkten (K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$) jeweils im 90%-Dezil liegt. Bei beiden Auswertungsgrößen sind die Differenzen nicht signifikant.

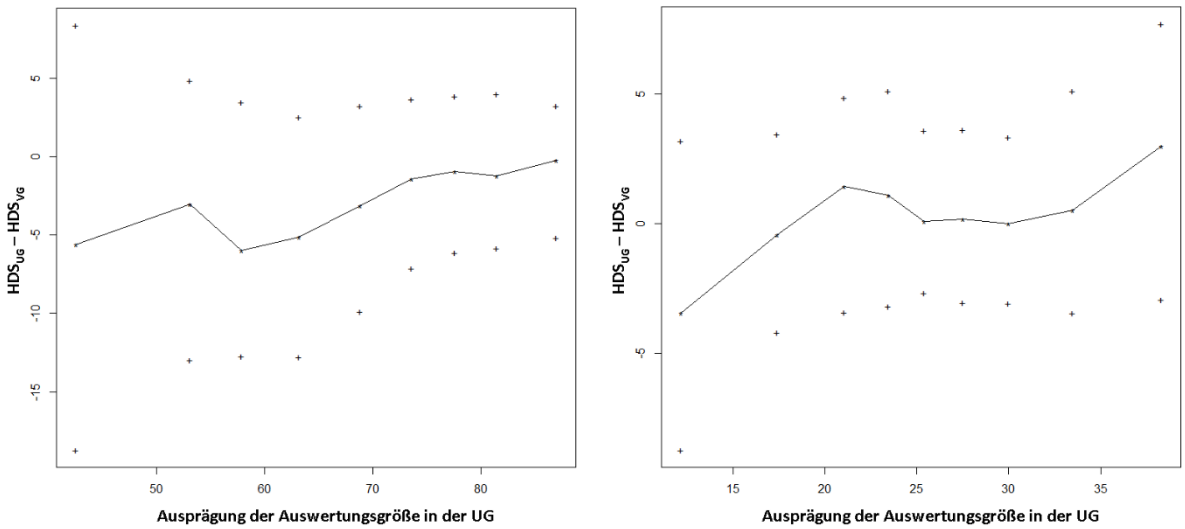


Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{mod-BEZ}$				Statistik zu den Dezilen des S-Wert$_{mod-PRO}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-1,743	-6,900; 4,625	0,596	90%	7,180	2,032; 12,713	< 0,001***
80%	-2,413	-7,374; 2,821	0,223	80%	5,898	-1,296; 11,666	0,025[a]
70%	-2,985	-8,029; 2,083	0,166	70%	3,091	-1,588; 10,014	0,115
60%	-2,938	-8,054; 1,515	0,084	60%	4,000	-1,940; 9,371	0,098
50%	-3,337	-7,706; 2,342	0,130	50%	4,071	-1,955; 9,437	0,082
40%	-2,488	-7,214; 2,641	0,129	40%	3,165	-1,621; 8,714	0,066
30%	-1,876	-5,677; 2,269	0,309	30%	3,175	-2,229; 7,555	0,156
20%	-0,718	-4,087; 1,490	0,428	20%	1,339	-2,056; 5,717	0,410
10%	-2,193	-5,484; 1,828	0,156	10%	0,897	-3,441; 4,238	0,680

p_{krit}: [a] 0,006

Abbildung 50: Gruppenvergleich der Dezile des S-Wert$_{mod-BEZ}$ und S-Wert$_{mod-PRO}$ zu t_1

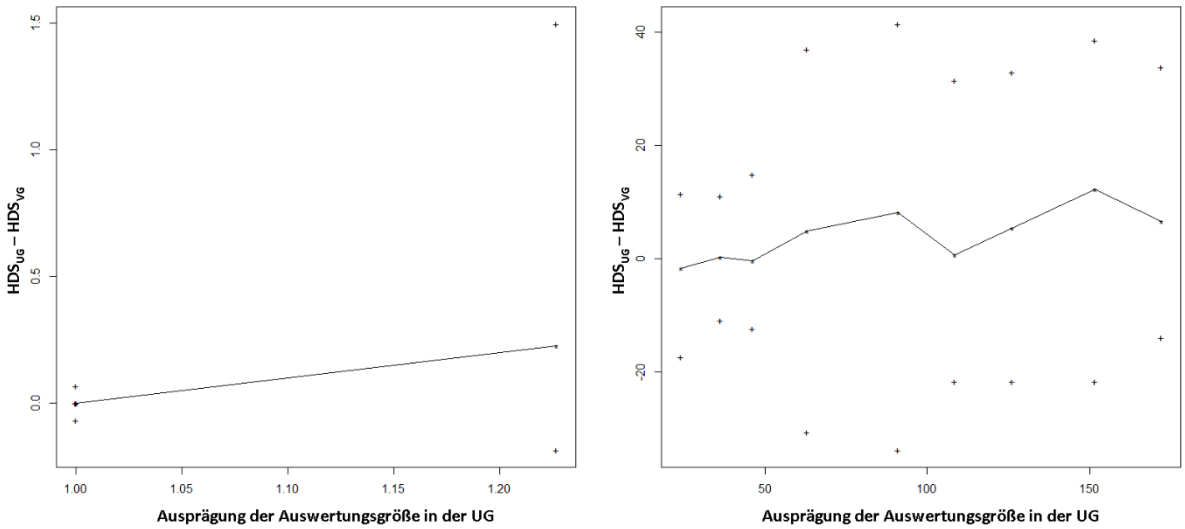
Wie Abbildung 50 zeigt, weist die VG in allen Dezilen des S-Wert$_{mod-BEZ}$ höhere Werte auf, wobei die Differenz nicht signifikant ist. Der Unterschied beträgt 0,718 – 3,337 Punkte. Auffällig ist, dass die Differenz bei den Proband/innen mit den niedrigsten Werten größer ist als bei denen mit den größten Werten. Beim S-Wert$_{mod-PRO}$ sind alle Dezile zugunsten der UG ausgeprägt, d.h. in allen Dezilen weisen die Proband/innen aus der UG höhere Werte auf. Die Differenz liegt im 50%-Dezil bereits bei 4,071 Punkten und steigt bis zum 90%-Dezil hochsignifikant auf 7,180 Punkte an.



Statistik zu den Dezilen des CM-SRG$_{mod}$				Statistik zu den Dezilen des CM-GU$_{mod}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*P*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,248	-5,198; 3,212	0,842	90%	2,988	-2,912; 7,715	0,128
80%	-1,242	-5,823; 4,008	0,535	80%	0,522	-3,444; 5,126	0,752
70%	-0,931	-6,154; 3,841	0,668	70%	0,012	-3,076; 3,349	0,973
60%	-1,434	-7,121; 3,633	0,484	60%	0,191	-3,027; 3,624	0,923
50%	-3,134	-9,895; 3,247	0,191	50%	0,086	-2,651; 3,597	0,936
40%	-5,149	-12,782; 2,518	0,090	40%	1,102	-3,185; 5,125	0,547
30%	-5,970	-12,981; 3,363	0,082	30%	1,436	-3,426; 4,859	0,395
20%	-3,053	-12,981; 4,854	0,339	20%	-0,429	-4,180; 3,468	0,777
10%	-5,609	-18,710; 8,357	0,280	10%	-3,428	-8,725; 3,215	0,169

Abbildung 51: Gruppenvergleich der Dezile des CM-SRG$_{mod}$ und CM-GU$_{mod}$ zu t_1

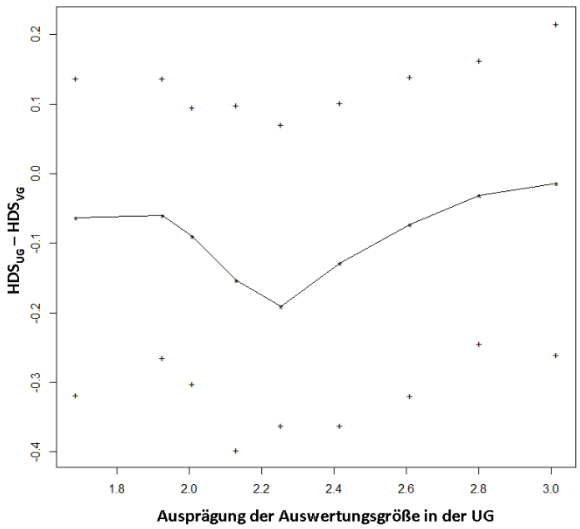
Abbildung 51 zeigt, dass die Proband/innen der VG in allen Dezilen des CM-SRG$_{mod}$ höhere Prozentpunkte erreicht haben als die aus der UG. Obschon die Differenz in der oberen Hälfte bis zu 1,434 Prozentpunkte beträgt, differieren beide Gruppen besonders in den unteren Dezilen: Die Proband/innen mit den wenigsten Prozentpunkten in der VG haben einen um 5,970 Prozentpunkte höheren CM-SRG$_{mod}$ als diejenigen aus der UG. Ein umgekehrtes Bild zeigt der Dezilvergleich beim CM-GU$_{mod}$: Die Proband/innen im untersten Dezil besitzen in der VG 3,428 gewertete Konzepte/Sinneinheiten mehr in der CM$_{mod}$. Im 20%-Dezil sind es dann nur noch 0,429 Konzepte/Sinneinheiten mehr. In allen darauffolgenden Dezilen sind es umgekehrt die Proband/innen der UG, die mehr Konzepte/Sinneinheiten konstruiert haben. Auffällig ist der kleine Peak im 30%- und 40%-Dezil, in denen der Unterschied 1,436 bzw. 1,102 Konzepte/Sinneinheiten mehr beträgt, während in den restlichen Dezilen die Differenz deutlich geringer ist und im 70%-Dezil schließlich nahezu kein Unterschied wahrzunehmen ist. Dies ändert sich beim Übergang vom 80%- zum 90%-Dezil, in dem die Proband/innen der UG 2,998 gewertete Konzepte/Sinneinheiten mehr konstruiert haben als die aus der VG. Keiner der o.g. Unterschiede ist signifikant.

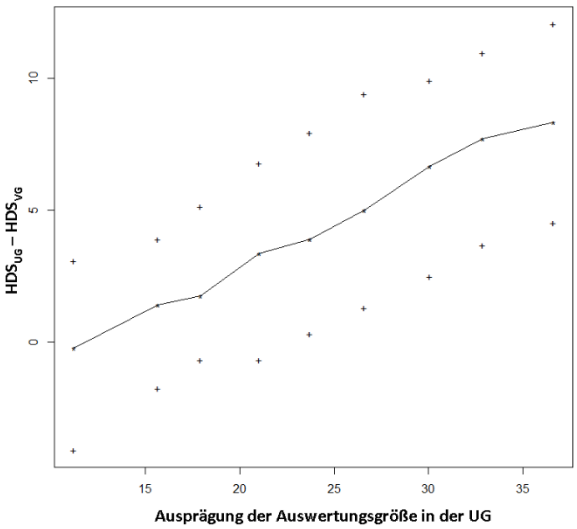


Statistik zu den Dezilen des CM-TS$_{mod}$				Statistik zu den Dezilen des CM-SP$_{mod}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	0,227	-1,835; 1,498	0,084	90%	6,621	-14,019; 33,860	0,354
80%	$9{,}163e^{-06}$	$-1{,}583e^{-05}$; 0,069	0,125	80%	12,208	-21,692; 38,666	0,379
70%	$1{,}730e^{-13}$	$-1{,}941e^{-12}$; $2{,}630e^{-06}$	0,258	70%	5,429	-21,680; 32,892	0,571
60%	0,000	0,000; $3{,}946e^{-12}$	0,914	60%	0,628	-21,762; 31,433	0,924
50%	0,000	0,000; 0,000	1,000	50%	8,163	-33,814; 41,496	0,665
40%	0,000	0,000; 0,000	1,000	40%	4,917	-30,703; 37,069	0,715
30%	0,000	0,000; 0,000	0,992	30%	-0,403	-12,354; 14,902	0,965
20%	$-1{,}110e^{-16}$	$-1{,}538e^{-07}$; 0,000	0,415	20%	0,303	-10,936; 11,054	0,978
10%	$-1{,}516e^{-05}$	-0,065; 0,000	0,057	10%	-1,667	-17,411; 11,421	0,784

Abbildung 52: Gruppenvergleich der Dezile des CM-TS$_{mod}$ und CM-SP$_{mod}$ zu t_1

Abbildung 52 zeigt ein heterogenes Bild beim CM-TS$_{mod}$: Nach einer größeren Anzahl an Teilstrukturen bei der VG (10%- und 20%-Dezil) und einem Bereich der Ausgeglichenheit (30%- bis 60%-Dezil) sind es die Proband/innen der UG, die vom 70%-Dezil an aufwärts mehr Teilstrukturen in ihrer CM$_{mod}$ haben. Die absoluten Differenzen sind abgesehen vom 90%-Dezil gering und nicht signifikant. Fehlende Signifikanz zeigt ebenfalls der Dezilvergleich beim CM-SP$_{mod}$, der ungleichmäßig ausfällt: Während die Proband/innen der VG im 10%-Dezil 1,667 Strukturpunkte mehr haben, sind es die der UG, die im nachfolgenden Dezil 0,303 Strukturpunkte mehr haben. Im 30%-Dezil sind es wiederum erneut die aus der VG, die 0,403 Strukturpunkte mehr haben. Ab dem 40%-Dezil aufwärts haben wieder durchgehend die Proband/innen der UG mehr Strukturpunkte hinzugewonnen, wobei der Unterschied zwischen 0,628 und 12,208 Strukturpunkten schwankt. Auffällig sind die Sprünge vom 50%- zum 60%-Dezil, vom 70%- zum 80%-Dezil und vom 80%- zum 90%-Dezil.





Statistik zu den Dezilen des CM-VNI$_{mod}$				Statistik zu den Dezilen des CM-KPG$_{mod}$			
Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert	Q.	$HDS_{UG} - HDS_{VG}$	95%-KI	*p*-Wert
90%	-0,014	-0,261; 0,215	0,879	90%	8,323	4,532; 12,056	< 0,001***
80%	-0,031	-0,244; 0,163	0,713	80%	7,718	3,670; 10,951	< 0,001***
70%	-0,073	-0,320; 0,139	0,425	70%	6,662	2,489; 9,904	< 0,001***
60%	-0,129	-0,362; 0,102	0,126	60%	5,003	1,301; 9,411	0,001***
50%	-0,191	-0,362; 0,071	0,050[a]	50%	3,890	0,313; 7,936	0,005**
40%	-0,153	-0,397; 0,098	0,096	40%	3,362	-0,664; 6,778	0,035[a]
30%	-0,090	-0,302; 0,096	0,187	30%	1,757	-0,676; 5,153	0,080
20%	-0,060	-0,265; 0,137	0,391	20%	1,417	-1,756; 3,897	0,312
10%	-0,063	-0,318; 0,138	0,470	10%	-0,215	-4,082; 3,070	0,907

p_{krit}: [a] 0,006 p_{krit}: [a] 0,013

Abbildung 53: Gruppenvergleich der Dezile des CM-VNI$_{mod}$ und CM-KPG$_{mod}$ zu t_1

Wie Abbildung 53 zeigt, sind die Werte des CM-VNI$_{mod}$ ohne Signifikanz bei der VG durchweg höher als bei der UG; die absolute Differenz ist nur minimal. Beim CM-KPG$_{mod}$ zeigt sich in der oberen Hälfte der Dezile eine sehr bis hochsignifikante Differenz von 3,890 – 8,323 Prozentpunkten zugunsten der UG. Im unteren Bereich ist die Differenz kleiner und im 10%-Dezil sind es die Proband/innen der VG, die einen höheren CM-KPG$_{mod}$ haben.

Der Gruppenvergleich auf der Dezilebene lässt bei den Auswertungsgrößen weitestgehend keine signifikanten Unterschiede erkennen; einzige Ausnahme sind das 50%- bis 90%-Dezil des CM-KPG$_{mod}$ und das 90%-Dezil des S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$. Wie der K-Wert$_{mod\text{-}ELE}$ ist der S-Wert$_{mod\text{-}PRO}$ in allen Dezilen zugunsten der UG ausgeprägt. Die Mehrheit der Dezile fällt ebenfalls beim K-Wert$_{mod\text{-}PRO}$, CM-GU$_{mod}$, CM-SP$_{mod}$ und CM-KPG$_{mod}$ zugunsten der UG aus. Demgegenüber zeigt die VG beim S-Wert$_{mod\text{-}BEZ}$, CM-SRG$_{mod}$ und CM-VNI$_{mod}$ in allen Dezilen höhere Werte. Beim CM-TS$_{mod}$ besteht ein heterogenes Bild.

Angesichts der nach α-Fehler-Kontrolle bei allen als Indikatoren fungierenden Auswertungsgrößen (ohne CM-KPG$_{mod}$) nicht signifikanten Testergebnisse des univariaten Gruppenvergleichs in Tabelle 59 werden multivariate Hypothesentests ohne den CM-TS$_{mod}$ (aufgrund der Werteverteilungen) und CM-KPG$_{mod}$ durchgeführt. Die multivariaten Testergebnisse sind wie folgt:

- *MULtr.anova*/*MULAOVp*:
  - γ = 0,05: p = 0,003** (Teststatistik: 26,057; kritischer Wert: 16,453)
  - γ = 0,10: p = 0,009** (Teststatistik: 22,238; kritischer Wert: 16,568)
  - γ = 0,20: p = 0,044* (Teststatistik: 17,416; kritischer Wert: 16,935)
- *depthg2*: KI = [-0,274; 0,005]
- *mulwmwv2*:
  - DGM (r_e = 0,229): unterer kritischer Wert (0,378) < MV-Differenz (0,409) < oberer kritischer Wert (0,603)
  - MCD (r_e = 0,028): unterer kritischer Wert (0,392) < MV-Differenz (0,519) < oberer kritischer Wert (0,590)
  - MMD (r_e = 0,078): unterer kritischer Wert (0,388) < MV-Differenz (0,469) < oberer kritischer Wert (0,620)

Die multivariaten Testergebnisse zeigen ein uneinheitliches Bild[139]: Von *MULtr.anova*/*MULAOVp* wird bei allen drei γ eine (sehr) signifikante Differenz ausgewiesen; möglicherweise geht dies auf den relativen Einfluss des S-Wert$_{\text{mod-PRO}}$ zurück, der erst nach α-Fehler-Kontrolle keine Signifikanz zeigt. Demgegenüber fällt das Ergebnis von *depthg2* nicht signifikant aus, da das KI – wenn auch sehr knapp – nicht den Wert Null beinhaltet. Auch die drei Ergebnisse von *mulwmwv2* deuten auf keine signifikante Differenz hin, da der Wert der MV-Differenz jeweils zwischen dem oberen und unteren kritischen Wert liegt. Wegen der Inkonsistenz kann weder für, noch gegen das Vorliegen eines signifikanten Gruppenunterschieds bei allen AVs zu t_1 geschlossen werden. Es ist zu beachten, dass die Ergebnisse von *MULtr.anova*/*MULAOVp* bei Trimmung zustande gekommen sind, während bei *depthg2* und *mulwmwv2* keine Trimmung erfolgt. Allerdings zeigen die *p*-Werte bei *MULtr.anova*/*MULAOVp* eine zunehmend größere Signifikanz, je weniger Gruppenwerte getrimmt sind.

6.2 Ergebnisse zu den Fragebögen

Es werden nacheinander die Ergebnisse zu Fragebogen A (Kapitel 6.2.1), Fragebogen B (Kapitel 6.2.2) und Fragebogen C (Kapitel 6.2.3) vorgestellt.

6.2.1 Fragebogen A: Grunddaten und dispositionale Ausprägung

Nachfolgend sind die Kennwerte und Testergebnisse zu den KVs in Fragebogen A dargestellt.

6.2.1.1 Grunddaten der Proband/innen

Tabelle 62 gibt die Kennwerte und Ergebnisse von *disc2.chi.sq* zu den drei nominalskalierten Variablen Geschlecht, Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache und Gesehene Zahl beim Ishihara-Farbtest wieder[140]. Alle Testergebnisse weisen auf keine signifikante Gruppendifferenz hin. Es zeigt sich insgesamt eine ausgewogene Geschlechteraufteilung sowie eine fast vollständige Teilnahme von Proband/innen, die seit ihrer Geburt Deutsch sprechen. Jeweils mehr als drei Viertel der Proband/innen beider Testgruppen hat beim Ishihara-Farbtest die richtige Zahl erkannt.

[139] Ein Grund hierfür können erneut die Korrelationen zwischen den verbliebenen Auswertungsgrößen sein.
[140] Die beiden letztgenannten KVs sind jeweils dichotomisiert.

Tabelle 62: Ergebnisse zu den nominalen KVs

Testgruppen	Kennwerte		Hypothesentest
Geschlecht			
	Weiblich	Männlich	
UG (*N* = 127)	53,4%	46,6%	χ^2 = 0,294, *p* = 0,598
VG (*N* = 108)	50,0%	50,0%	
Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache			
	Seit Geburt	Nicht seit Geburt	
UG (*N* = 127)	97,6%	2,4%	χ^2 = 0,073, *p* = 1,000
VG (*N* = 108)	98,1%	1,9%	
Gesehene Zahl beim Ishihara-Farbtest			
	Richtig (74)	Falsch (7, 21, 24, 47, 71)	
UG (*N* = 127)	80,3%	19,7%	χ^2 = 0,418, *p* = 0,505
VG (*N* = 108)	76,8%	23,2%	

Tabelle 63 gibt einen Einblick in die Ausprägung im Bereich der KVs Klassenstufe, letzte Schulnote in den Fächern Erdkunde/Geographie, Deutsch und Mathematik sowie wöchentlicher Stundenumfang in Erdkunde/GWG.

Tabelle 63: Ergebnisse zu den ordinalen KVs

Testgruppen	Kennwerte					Hypothesentests
Klassenstufe						
	11. Klasse			12. Klasse		A: 0,473 [0,415; 0,531], *p* = 0,360
UG (*N* = 127)	74,0%			26,0%		B: 0,473 [0,414; 0,531], *p* = 0,357
VG (*N* = 108)	68,5%			31,5%		
Stunden Erdkunde/GWG pro Woche						
	4 Stunden		2 Stunden	Kein Erdkunde/GWG		
UG (*N* = 127)	46,5%		52,8%	0,8%		A: 0,315 [0,265; 0,369], *p* < 0,001***
VG (*N* = 108)	9,3%		89,8%	0,9%		B: 0,315 [0,263; 0,368], *p* < 0,001***
	p < 0,001***		*p* < 0,001***	*p* = 0,900		
Letzte Note Erdkunde/GWG						
	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft	A: 0,511 [0,441; 0,580], *p* = 0,770
UG (*N* = 127)	18,1%	**52,8%**	27,6%	10,6%	--	B: 0,511 [0,441; 0,581], *p* = 0,760
VG (*N* = 108)	23,1%	**41,7%**	30,6%	40,6%	--	
Letzte Note Deutsch						
UG (*N* = 127)	4,7%	40,2%	**40,9%**	12,6%	10,6%	A: 0,444 [0,376; 0,517], *p* = 0,120
VG (*N* = 108)	13,0%	**38,9%**	37,0%	11,1%	--	B: 0,444 [0,374; 0,514], *p* = 0,114
Letzte Note Mathe						
UG (*N* = 127)	18,1%	22,0%	**33,9%**	18,9%	7,1%	A: 0,513 [0,441; 0,584], *p* = 0,740
VG (*N* = 108)	16,7%	23,1%	**30,6%**	23,1%	6,5%	B: 0,513 [0,440; 0,585], *p* = 0,731

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

Wie die Kennwerte und die Testergebnisse von *cidv2* und *bmp* in Tabelle 63 zeigen, liegt nur eine signifikante Differenz beim wöchentlichen Stundenumfang in Erdkunde/GWG vor. Wie *binband* andeutet, haben die Proband/innen der UG das Fach hochsignifikant häufiger vier Stunden als die der VG. Umgekehrt haben hochsignifikant mehr Proband/innen der VG dieses Fach zwei Stunden pro Woche.

Die Ergebnisse für die metrische KV Alter zeigt Tabelle 64. Wie *yuenbt*, *trimpb* und *pb2gen* (vgl. Tabelle 40) angeben, ist das Alter der Proband/innen im getrimmten Mittel in der VG geringfügig höher als in der UG. Gemäß *comvar2* ist die Varianz jedoch hochsignifikant verschieden (Heteroskedastizität).

Tabelle 64: Ergebnisse zur metrischen KV Alter

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			**VG (*N* = 108)**		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	16,965 (0,093)	16,913 (0,087)	16,883 (0,117)	17,031 (0,081)	17,034 (0,091)	17,045 (0,121)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[16,783; 17,148]	[16,748; 17,107]	[16,662; 17,117]	[16,878; 17,215]	[16,864; 17,216]	[16,818; 17,273]
VAR_w	0,889	0,622	0,622	0,569	0,569	0,569
Hu / Tu / Ha / An	16,943 / 16,949 / 16,961 / 16,949			17,044 / 17,048 / 17,061 / 17,048		
MOM	16,984			17,074		
Median	17,000			17,000		
Ausreißer mBPR	0			0		
Ausreißer MAD-M	0			0		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	0,343 [0,008; 0,700]					
t-Tests	γ = 0,05: -0,065 [-0,315; 0,184], *p* = 0,599			γ = 0,20: -0,162 [-0,375; 0,133], *p* = 0,329		
	γ = 0,10: -0,121 [-0,494; 0,182], *p* = 0,315			MOM: -0,090 [-0,323; 0,158], *p* = 0,494		

6.2.1.2 Vorerfahrung und Selbstwirksamkeit Computerumgang

Tabelle 65 zeigt Vorerfahrung im Computerumgang und der durchschnittlichen täglichen Computernutzung. Die Vorerfahrung ist in beiden Gruppen in etwa gleich verteilt. Ebenso weitestgehend vergleichbar ist die Dauer der täglichen Nutzung, auch wenn bei der UG wesentlich mehr den Computer pro Tag 2 – 4 Stunden nutzen als in der VG. Nur sehr wenige Proband/innen beider Gruppen geben an, keine Computererfahrung zu haben bzw. diesen überhaupt nicht zu nutzen.

Tabelle 65: Ergebnisse zur Vorerfahrung im Computerumgang und Dauer der täglichen Nutzung

TESTGRUPPEN	**KENNWERTE**						**HYPOTHESENTESTS**
Vorerfahrung im Computerumgang							
	Sehr viel	Viel	Mittelmäßig	Wenig	Überh. keine		A: 0,529 [0,460; 0,596], *p* = 0,420 B: 0,529 [0,460; 0,598], *p* = 0,414
UG (*N* = 127)	11,8%	**43,3%**	40,9%	3,1%	0,8%		
VG (*N* = 108)	15,7%	**43,5%**	37,0%	2,8%	0,9%		
Dauer der täglichen Computernutzung							
	> 4 Std.	2 – 4 Std.	1 – 2 Std.	0,5 – 1 Std.	< 0,5 Std.	Keine Nutzung	A: 0,452 [0,382; 0,524], *p* = 0,200 B: 0,452 [0,380; 0,524], *p* = 0,193
UG (*N* = 127)	5,5%	21,3%	22,8%	**28,3%**	21,3%	0,8%	
VG (*N* = 108)	3,7%	10,2%	34,3%	**25,0%**	25,0%	1,9%	

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

Die Ausprägung der Selbstwirksamkeit bezogen auf die Computernutzung ist in Anlage 1 itemweise dargestellt. Der aus den einzelnen Itemwerten gebildete Skalenindex ist Tabelle 66 zu entnehmen. Bei einer Itemcodierung von 0 = »Trifft überhaupt nicht zu« bis 4 = »Trifft völlig zu« ist die Selbstwirksamkeit mit einem Wert von jeweils ca. 2,9 in beiden Gruppen durchaus hoch ausgeprägt.

Tabelle 66: Ergebnisse zur Selbstwirksamkeit Computerumgang

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,901 (0,062)	2,908 (0,065)	2,900 (0,064)	2,860 (0,071)	2,873 (0,074)	2,892 (0,074)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,781; 3,015]	[2,788; 3,025]	[2,783; 3,019]	[2,730; 2,993]	[2,737; 3,008]	[2,742; 3,032]
VAR_w	0,391	0,344	0,188	0,445	0,377	0,214
Hu / Tu / Ha / An	2,896 / 2,934 / 2,903 / 2,936			2,882 / 2,883 / 2,870 / 2,883		
MOM	2,943			2,841		
Median	2,857			2,857		
Ausreißer mBPR	2			0		
Ausreißer MAD-M	5			0		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	-0,030 [-0,199; 0,145]					
t-Tests	γ = 0,05: 0,041 [-0,141; 0,222], *p* = 0,657			γ = 0,20: 0,008 [-0,185; 0,202], *p* = 0,941		
	γ = 0,10: 0,035 [-0,154; 0,224], *p* = 0,715			MOM: 0,101 [-0,166; 0,270], *p* = 0,619		

6.2.1.3 Vorwissen Thema Braunkohleabbau und Nachhaltigkeit

Einblicke in das Vorwissen zu den Themen Braunkohleabbau und Nachhaltigkeit gibt Tabelle 67. Jeweils > 90% der Proband/innen geben überhaupt kein bis mittelmäßiges Vorwissen an, wobei die VG insgesamt hochsignifikant weniger und zugleich hochsignifikant häufiger überhaupt keine Vorkenntnisse signalisiert. In Bezug auf die Nachhaltigkeitsthematik sind die Verhältnisse zwischen den Gruppen ausgeglichener und es wird ein insgesamt größeres Vorwissen angedeutet.

Tabelle 67: Ergebnisse zum Vorwissen Thema Braunkohleabbau und Nachhaltigkeit

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Vorwissen zum Thema Braunkohleabbau						
	Sehr viel	Viel	Mittelmäßig	Wenig	Überh. keine	
UG (*N* = 127)	--	7,9%	33,1%	**48,8%**	10,2%	A: 0,373 [0,309; 0,442], *p* < 0,001***
VG (*N* = 108)	0,9%	2,8%	22,2%	**44,4%**	29,6%	B: 0,373 [0,306; 0,440], *p* < 0,001***
	p = 0,460	*p* = 0,110	*p* = 0,068	*p* = 0,510	*p* = 0,001***	
Vorwissen zum Thema Nachhaltigkeit						
UG (*N* = 127)	1,6%	21,3%	**48,0%**	27,6%	1,6 %	A: 0,560 [0,490; 0,627], *p* = 0,093
VG (*N* = 108)	4,6%	28,7%	**41,7%**	24,1%	4,6%	B: 0,560 [0,490; 0,630], *p* = 0,091

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.1.4 Nutzungshäufigkeit und Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit

Die Häufigkeit der schulischen/privaten Nutzung und des Einsatzes zur Erderkundung sowie die bevorzugte Ansicht in Google Maps sind Gegenstand von Tabelle 68.

Tabelle 68: Ergebnisse zur Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten

Testgruppen	Kennwerte					Hypothesentests
Durchschnittliche Häufigkeit der schulischen Nutzung des jeweiligen Mediums						
	1 × pro Woche	1 × pro Monat	1 × pro Jahr	< 1 × pro Jahr	Noch nie	A: 0,580 [0,510; 0,647], p = 0,026*
UG (N = 127)	0,8%	7,9%	32,3%	**33,9%**	25,2%	B: 0,580 [0,510; 0,650], p = 0,025*
VG (N = 108)	1,9%	12,0%	37,0%	**35,2%**	13,9%	
	p = 0,530	p = 0,300	p = 0,450	p = 0,720	p = 0,020[a]	p_{krit}: [a]0,010
Durchschnittliche Häufigkeit der privaten Nutzung des jeweiligen Mediums						
UG (N = 127)	4,7%	19,7%	19,7%	**18,9%**	37,0%	A: 0,473 [0,403; 0,544], p = 0,470
VG (N = 108)	3,7%	10,2%	27,8%	**21,3%**	37,0%	B: 0,473 [0,402; 0,545], p = 0,462
Durchschnittliche Häufigkeit der Erderkundung mithilfe des jeweiligen Mediums						
UG (N = 127)	10,2%	**40,9%**	22,9%	20,5%	5,5%	A: 0,570 [0,500; 0,638], p = 0,050*
VG (N = 108)	14,8%	**47,2%**	23,1%	9,3%	5,6%	B: 0,570 [0,501; 0,640], p = 0,048*
	p = 0,300	p = 0,340	p = 0,950	p = 0,019[a]	p = 0,980	p_{krit}: [a]0,010
Bevorzugte Ansicht in Google Maps						
	Nur Luft- & Satellitenbilder		Nur Karten	Beide Ansichten		A: 0,496 [0,432; 0,560], p = 0,900
UG (N = 127)	15,7%		22,8%	**61,4%**		B: 0,496 [0,431; 0,561], p = 0,496
VG (N = 108)	21,3%		15,7%	**63,0%**		

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

Wie aus Tabelle 68 hervorgeht, gibt die VG insgesamt signifikant häufiger an, bereits mit topographischen Karten bzw. Wanderkarten im Schulunterricht gearbeitet zu haben als die UG in Bezug auf die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern. Mehrheitlich erfolgt die Arbeit in beiden Gruppen jedoch nur »< 1 × pro Jahr« bis »1 × pro Jahr«. In der UG gibt rund ein Viertel an, noch nie mit Luft- und Satellitenbildern unterrichtlich gearbeitet zu haben. Bei der Verteilung der Häufigkeiten der privaten Nutzung unterscheiden sich die Gruppen kaum voneinander, wobei jeweils mehr als ein Drittel zu erkennen gibt, dass privat noch nie Luft- und Satellitenbilder oder topographische Karten bzw. Wanderkarten eingesetzt wurden. In beiden Gruppen gibt jeweils nur eine Minderheit (ca. 5%) an, das jeweilige Medium noch nie für die Erkundung der Erde in der angegebenen Software genutzt zu haben. Insgesamt wird der Einsatz von Karten zu diesem Zweck in der VG gerade noch signifikant häufiger angegeben als die Verwendung von Luft- und Satellitenbildern seitens der UG. Die Mehrheit beider Gruppen nutzt das jeweilige Medium »1 × pro Jahr« bis »1 × pro Monat«. Obschon in beiden Gruppen die Mehrheit der Proband/innen beide Ansichten in Google Maps bevorzugt, ist auffällig, dass bei der VG die Luft- und Satellitenbildansicht und bei der UG umgekehrt die Kartenansicht favorisiert wird.

Die Ausprägung der Selbstwirksamkeit im Umgang mit Luft- und Satellitenbildern bzw. Karten allgemein ist Anlage 2 itemweise zu entnehmen. Eine zusammenfassende Darstellung bietet Tabelle 69, in der die Statistik für den daraus gebildeten Skalenindex angegeben ist. Angesichts der Itemcodierung von 0 = »Trifft überhaupt nicht zu« bis 4 = »Trifft völlig zu« liegt der Index im leicht positiven Bereich. Die Selbstwirksamkeit ist im getrimmten Mittel bei allen drei γ jeweils in der UG bezogen auf die Luft- und Satellitenbildarbeit (ca. 2,3) etwas höher ausgeprägt als in der VG mit Blick auf die Kartenarbeit (ca. 2,1). Die Proband/innen der UG sind folglich stärker von sich überzeugt, mit Luft- und Satellitenbildern gut umgehen zu können, als die der VG hinsichtlich der Kartenarbeit. Ein signifikanter Unterschied liegt bei γ = 0,05 bzw. γ = 0,10 vor, der nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr gegeben ist.

Tabelle 69: Ergebnisse zur Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,317 (0,052)	2,320 (0,051)	2,323 (0,049)	2,141 (0,074)	2,142 (0,078)	2,131 (0,080)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,219; 2,413]	[2,220; 2,414]	[2,221; 2,411]	[1,997; 2,287]	[1,989; 2,292]	[1,977; 2,285]
VAR_w	0,276	0,215	0,109	0,473	0,419	0,248
Hu / Tu / Ha / An	2,325 / 2,328 / 2,326 / 2,329			2,135 / 2,147 / 2,147 / 2,148		
MOM	2,309			2,154		
Median	2,333			2,167		
Ausreißer mBPR	3			1		
Ausreißer MAD-M	9			3		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	-0,257 [-0,447; -0,076]					
t-Tests[a]	γ = 0,05: 0,176 [0,004; 0,348], *p* = 0,046*			γ = 0,20: 0,191 [0,005; 0,373], *p* = 0,043*		
	γ = 0,10: 0,178 [-0,351e^{-03}; 0,357], *p* = 0,052			MOM: 0,155 [-0,014; 0,360], *p* = 0,076		

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,069, *p* = 0,069, *p* = 0,069, *p* = 0,076.

6.2.1.5 Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping

Die Vorerfahrung mit beiden Methoden kann Tabelle 70 entnommen werden. Es zeigt sich, dass die Proband/innen beider Gruppen über (sehr) viel Vorerfahrung im Mind Mapping verfügen. Vorerfahrung im Concept Mapping hat hingegen in beiden Gruppen die Mehrheit nur wenig bis mittelmäßig, während jeweils fast ein Fünftel überhaupt keine Vorkenntnisse besitzt.

Tabelle 70: Ergebnisse zur Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Vorerfahrung im Mind Mapping						
	Sehr viel	Viel	Mittelmäßig	Wenig	Überh. keine	A: 0,456 [0,389; 0,525], *p* = 0,220 B: 0,456 [0,387; 0,525], *p* = 0,211
UG (*N* = 127)	26,8%	**55,9%**	16,5%	0,8%	--	
VG (*N* = 108)	25,9%	**46,3%**	24,1%	2,8%	0,9%	
Vorerfahrung im Concept Mapping						
UG (*N* = 127)	4,7%	12,6%	**33,9%**	29,9%	18,9%	A: 0,471 [0,401; 0,542], *p* = 0,430 B: 0,471 [0,400; 0,543], *p* = 0,429
VG (*N* = 108)	2,8%	12,0%	29,6%	**38,0%**	17,6%	

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.2 Fragebogen B: Feedback zur CM_{vorw}-Konstruktion (situationale Ausprägung)

Nachfolgend sind die Kennwerte und Testergebnisse zu den KVs in Fragebogen B dargestellt.

6.2.2.1 Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion

Die Interessantheit der Konstruktion der CM_{vorw} ist über eine Skala mit vier Items erfasst worden. Das Antwortverhalten kann itemweise Anlage 3 entnommen werden. Auf der Grundlage einer Itemcodierung von 0 = »Trifft überhaupt nicht zu« bis 4 = »Trifft völlig zu« ist ein Skalenindex als zusammenfassender Ausdruck der Interessantheit gebildet worden, dessen Ausprägung Tabelle 71 zeigt.

Da der Index jeweils im getrimmten Mittel über 2,0 liegt, zeigt sich, dass die Proband/innen beider Testgruppen die Konstruktion ihrer CM_{vorw} als eine eher interessante Aufgabe empfunden haben.

Tabelle 71: Ergebnisse zur Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			**VG (*N* = 108)**		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,507 (0,073)	2,527 (0,076)	2,539 (0,071)	2,401 (0,076)	2,395 (0,078)	2,383 (0,077)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,372; 2,635]	[2,386; 2,653]	[2,406; 2,666]	[2,258; 2,543]	[2,247; 2,545]	[2,242; 2,538]
VAR_w	0,543	0,463	0,229	0,510	0,416	0,231
Hu / Tu / Ha / An	2,538 / 2,571 / 2,540 / 2,571			2,385 / 2,403 / 2,392 / 2,404		
MOM	2,547			2,443		
Median	2,500			2,500		
Ausreißer mBPR	1			2		
Ausreißer MAD-M	4			3		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	0,024 [-0,447; -0,076]					
t-Tests	γ = 0,05: 0,106 [-0,091; 0,303], *p* = 0,308			γ = 0,20: 0,156 [-0,050; 0,351], *p* = 0,145		
	γ = 0,10: 0,132 [-0,073; 0,336], *p* = 0,215			MOM: 0,104 [-0,084; 0,334], *p* = 0,261		

6.2.2.2 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Konstruktion

Bei den in Tabelle 72 vorgestellten Items handelt sich um einzelne Aspekte der Handhabbarkeit der CM-Konstruktion und der dabei aufgetretenen Schwierigkeiten. Dass die Methode als solche (eher) leicht zu erlernen ist, zeigt die große Zustimmung in beiden Gruppen, wobei diese in der UG insgesamt signifikant höher ist: Während die volle Zustimmung in der UG um 20% größer ist, wird in der VG sehr signifikant häufiger mit »Trifft eher zu« geantwortet. Der Umgang mit der Konstruktionssoftware ist der großen Mehrheit beider Gruppen (eher) leicht gefallen. Mit ihrer konstruierten CM_{vorw} ist in beiden Gruppen jeweils die Mehrheit der Proband/innen teilweise bis eher zufrieden. Das Antwortverhalten beim nachfolgenden umgepolten Item lässt erkennen, dass für jeweils rund 90% insgesamt (eher) keine großen Komplikationen bei der Konstruktion aufgetreten sind. Die Erstellung der Konzepte ist für die Mehrheit beider Gruppen teilweise bis völlig unproblematisch gewesen, wobei jeweils ca. zwei Drittel (eher) keine Schwierigkeiten erkennen lassen. Die Entscheidung, welche Konzepte zueinander in Beziehung zu setzen sind, ist der Mehrheit beider Gruppen ebenso teilweise bis eher nicht schwer gefallen, wobei dies für die UG insgesamt in einem signifikant höheren Maße gilt, in der rund ein Fünftel überhaupt keine Probleme zu erkennen gibt. Passende Verbindungswörter zu finden ist jeweils nur noch für rund ein Drittel der Proband/innen (eher) unkompliziert gewesen, während jeweils rund ein Drittel diesbezügliche Probleme angibt und 30 – 35% mit »Teils, teils« antworten.

Tabelle 72: Ergebnisse zu Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Konstruktion

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Einfaches Erlernen der Methode Concept Mapping						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,436 [0,375; 0,499], p = 0,047*
UG (N = 127)	**70,9%**	23,6%	3,9%	1,6%	--	B: 0,436 [0,374; 0,499], p = 0,046*
VG (N = 108)	**56,5%**	40,7%	2,8%	--	--	
	p = 0,024[a]	p = 0,006**	p = 0,670	p = 0,330	--	p_{krit}: [a] 0,017
Einfache CM_{vorw}-Konstruktion mit CmapTools						
UG (N = 127)	**60,6%**	31,5%	5,5%	2,4%	--	A: 0,463 [0,399; 0,529], p = 0,270
VG (N = 108)	**53,7%**	35,2%	11,1%	--	--	B: 0,463 [0,397; 0,529], p = 0,269
Zufriedenheit mit der CM_{vorw}						
UG (N = 127)	16,5%	**40,2%**	33,9%	7,1%	2,4%	A: 0,473 [0,405; 0,542], p = 0,450
VG (N = 108)	8,3%	**48,1%**	32,4%	9,3%	1,9%	B: 0,473 [0,403; 0,542], p = 0,442
Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Konstruktion (umgepolt)						
UG (N = 127)	**56,7%**	31,5%	7,9%	3,9%	--	A: 0,490 [0,425; 0,555], p = 0,770
VG (N = 108)	**57,4%**	34,3%	4,6%	3,7%	--	B: 0,490 [0,424; 0,556], p = 0,762
Schwierigkeiten bei der Erstellung von Konzepten (umgepolt)						
UG (N = 127)	37,0%	**29,1%**	23,6%	9,4%	0,8%	A: 0,461 [0,391; 0,531], p = 0,280
VG (N = 108)	24,1%	**43,5%**	22,2%	8,3%	1,9%	B: 0,461 [0,390; 0,532], p = 0,275
Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten (umgepolt)						
UG (N = 127)	23,6%	**44,9%**	25,2%	5,5%	0,8%	
VG (N = 108)	14,8%	**43,5%**	29,6%	11,1%	0,9%	A: 0,425 [0,358; 0,495], p = 0,036*
	p = 0,095	p = 0,840	p = 0,450	p = 0,140	p = 0,900	B: 0,425 [0,356;0,495], p = 0,035*
Schwierigkeiten bei der Erstellung von Verbindungswörtern (umgepolt)						
UG (N = 127)	9,4%	29,1%	**29,9%**	25,2%	6,3%	A: 0,482 [0,411; 0,553], p = 0,620
VG (N = 108)	7,4%	25,9%	**35,2%**	25,9%	5,6%	B: 0,482 [0,410; 0,554], p = 0,617

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.2.3 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Konstruktion

Das Ausmaß, zu dem das vorwissensbasierte Concept Mapping von den Proband/innen als nützlich empfunden wurde, geht aus Tabelle 73 hervor. Wie sich zeigt, konnte ein Viertel in der UG und ein Drittel in der VG das Concept Mapping (eher) dazu nutzen, um sich eigener Wissenslücken innerhalb der Thematik bewusst zu werden; im umgekehrten Maße trifft dies jedoch auch (eher) nicht zu. Dass Sinnzusammenhänge zwischen den Konzepten verstanden wurden, haben in der UG insgesamt signifikant mehr Proband/innen angegeben als in der VG: konkret antworteten sehr signifikant mehr Proband/innen der UG mit »Trifft völlig zu«, wohingegen sehr signifikant mehr aus der VG »Teils, teils« angaben. Das eigene Wissen zur Thematik in der CM_{vorw} (eher) repräsentieren zu können, gaben jeweils rund 75 – 80% in beiden Gruppen zu erkennen. Jeweils mehr als zwei Drittel stimmen (eher) zu, dass es wichtig sei, das zu repräsentierende Thema als Voraussetzung für die CM-Konstruktion gut kennen zu müssen. Jeweils rund ein Fünftel antwortet hingegen mit »Teils, teils«.

Tabelle 73: Ergebnisse zur Nützlichkeit der CM_{vorw}-Konstruktion

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Bewusstwerdung von Wissenslücken						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,564 [0,493; 0,632], p = 0,077
UG (N = 127)	3,1%	22,8%	**38,6%**	29,1%	6,3%	B: 0,564 [0,493; 0,634], p = 0,076
VG (N = 108)	4,3%	30,6%	**38,0%**	23,1%	3,7%	
Sinnzusammenhänge zwischen Konzepten verstehen						
UG (N = 127)	8,7%	**53,5%**	26,8%	7,9%	3,1%	A: 0,413 [0,349; 0,481], p = 0,012*
VG (N = 108)	0,9%	**44,4%**	45,4%	9,3%	--	B: 0,413 [0,346; 0,480], p = 0,011*
	p = 0,010**	p = 0,170	p = 0,004**	p = 0,710	p = 0,110	
Eigenes Wissen zur Thematik repräsentieren können						
UG (N = 127)	12,6%	**49,6%**	33,1%	3,9%	0,8%	A: 0,442 [0,375; 0,511], p = 0,099
VG (N = 108)	10,2%	**43,5%**	33,3%	10,2%	2,8%	B: 0,442 [0,373; 0,511], p = 0,098
Das zu repräsentierende Thema gut kennen müssen						
UG (N = 127)	30,7%	**42,5%**	20,5%	4,7%	1,6%	A: 0,502 [0,431; 0,573], p = 0,960
VG (N = 108)	36,1%	**32,4%**	23,1%	5,6%	2,8%	B: 0,502 [0,430; 0,574], p = 0,956

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.2.4 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Konstruktion

Wie sehr der vorgegebene Zeitrahmen für die Konstruktion der CM_{vorw} ausgereicht hat, zeigt Tabelle 74. Es ist zu erkennen, dass in beiden Gruppen jeweils mehr als zwei Drittel angeben, die verfügbare Konstruktionszeit als ausreichend oder als zu lang empfunden zu haben. Rund 15 – 20% geben an, noch mindestens 5 Minuten mehr zu benötigen; jeweils rund ein Zehntel hätte noch mehr Zeit gebraucht.

Tabelle 74: Ergebnisse zur Angemessenheit des Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Konstruktion

TESTGRUPPEN	KENNWERTE						HYPOTHESENTESTS
	Zeit war zu lang	Zeit reichte aus	≤ 5 Min. mehr	5 - 10 Min. mehr	10 - 15 Min. mehr	> 15 Min. mehr	A: 0,488 [0,421; 0,555], p = 0,720
UG (N = 127)	16,5%	**50,4%**	18,9%	8,7%	0,8%	4,7%	B: 0,488 [0,420; 0,555], p = 0,718
VG (N = 108)	13,0%	**59,3%**	16,7%	8,3%	2,8%	--	

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.3 Fragebogen C: Feedback zur visuellen Auswertung und zur CM_{vorw}-Modifikation (situationale Ausprägung)

Nachfolgend sind die Kennwerte und Testergebnisse zu den KVs in Fragebogen C dargestellt.

6.2.3.1 Intrinsische Motivation bei der visuellen Auswertung

Die Verteilung der prozentualen Antworthäufigkeiten bei den einzelnen Items der Skala Interesse/Vergnügen können Anlage 4 entnommen werden. Die Ergebnisse zu diesem Skalenindex in Tabelle 75 deuten unter Berücksichtigung der Itemcodierung (0 = »Trifft überhaupt nicht zu« bis 4 = »Trifft völlig zu«) darauf hin, dass die UG eher im positiv gestimmten Bereich liegt, wohingegen die VG sich eher im ablehnenden Bereich befindet. Im getrimmten Mittel zeigt die UG nach α-Fehler-Kontrolle ein hochsignifikant größeres Interesse/Vergnügen. Dies bedeutet, dass die UG die Auswertung hochsignifikant interessanter gefunden hat als die VG.

Tabelle 75: Ergebnisse zum Interesse/Vergnügen an der visuellen Auswertung

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ (SE)	2,167 (0,077)	2,187 (0,079)	2,217 (0,079)	1,678 (0,078)	1,675 (0,076)	1,673 (0,081)
[95%-KI]	[2,009; 2,309]	[2,024; 2,329]	[2,063; 2,360]	[1,536; 1,830]	[1,532; 1,831]	[1,519; 1,835]
VAR_w	0,610	0,503	0,282	0,528	0,396	0,255
Hu / Tu / Ha / An	2,224 / 2,287 / 2,224 / 2,290			1,677 / 1,662 / 1,676 / 1,662		
MOM	2,308			1,673		
Median	2,286			1,714		
Ausreißer mBPR	7			0		
Ausreißer MAD-M	17			1		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	0,028 [-0,201; 0,280]					
t-Tests [a]	γ = 0,05: 0,489 [0,268; 0,709], *p* < 0,001***			γ = 0,20: 0,544 [0,313; 0,765], *p* < 0,001***		
	γ = 0,10: 0,512 [0,292 0,732], *p* < 0,001***			MOM: 0,635 [0,290; 0,826], *p* < 0,001***		

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* < 0,001***.

Das Antwortverhalten bei den einzelnen Items der Skala Anstrengung/Wichtigkeit liefert Anlage 5. Die Ergebnisse zum Skalenindex zeigt Tabelle 76. Bei gleicher Itemcodierung befindet sich die UG eher im positiv gestimmten Bereich, während die VG tendenziell eher im Ablehnungsbereich liegt. Es zeigt sich bei allen drei γ nach α-Fehler-Kontrolle eine signifikant größere Anstrengung/Wichtigkeit bei der UG.

Tabelle 76: Ergebnisse zur Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,200 (0,070)	2,223 (0,070)	2,257 (0,060)	1,967 (0,084)	1,982 (0,089)	2,009 (0,100)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,061; 2,337]	[2,083; 2,351]	[2,122; 2,371]	[1,800; 2,131]	[1,816; 2,152]	[1,824; 2,194]
VAR_w	0,501	0,402	0,164	0,612	0,547	0,386
Hu / Tu / Ha / An	2,254 / 2,290 / 2,262 / 2,289			2,006 / 2,005 / 1,990 / 2,005		
MOM	2,250			1,977		
Median	2,200			2,000		
Ausreißer mBPR	4			2		
Ausreißer MAD-M	14			5		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	-0,107 [-0,382; 0,189]					
t-Tests[a]	γ = 0,05: 0,233 [0,022; 0,444], *p* = 0,034*			γ = 0,20: 0,248 [0,019; 0,474], *p* = 0,032*		
	γ = 0,10: 0,241 [0,024; 0,459], *p* = 0,031*			MOM: 0,273 [-0,006; 0,508], *p* = 0,056		

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: *p* = 0,045*, *p* = 0,045*, *p* = 0,045*, *p* = 0,056.

Die Antwortverteilung bei den Items der Skala Wahrgenommene Kompetenz gibt Anlage 6 wieder. Die Ergebnisse zum Skalenindex finden sich in Tabelle 77. Bei gleicher Itemcodierung wie zuvor zeigt die UG im getrimmten Mittel eher Zustimmung und die VG tendenziell eher Ablehnung. Es besteht eine Differenz bei den Varianzen (Heteroskedastizität).

Tabelle 77: Ergebnisse zur wahrgenommenen Kompetenz bei der visuellen Auswertung

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,126 (0,061)	2,131 (0,064)	2,132 (0,065)	1,956 (0,085)	1,951 (0,088)	1,965 (0,095)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,007; 2,245]	[2,013; 2,254]	[2,013; 2,260]	[1,794; 2,119]	[1,786; 2,129]	[1,780; 2,157]
VAR_w	0,385	0,332	0,190	0,628	0,538	0,350
Hu / Tu / Ha / An	2,136 / 2,139 / 2,135 / 2,138			1,962 / 1,968 / 1,952 / 1,968		
MOM	2,128			1,954		
Median	2,167			2,000		
Ausreißer mBPR	0			1		
Ausreißer MAD-M	0			0		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	-0,252 [-0,453; -0,042]					
t-Tests	γ = 0,05: 0,170 [-0,030; 0,371], *p* = 0,104			γ = 0,20: 0,167 [-0,057; 0,391], *p* = 0,155		
	γ = 0,10: 0,180 [-0,027; 0,388], *p* = 0,092			MOM: 0,174 [-0,067; 0,399], *p* = 0,164		

6.2.3.2 Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung

Die Verteilung der Antworten bei jenen Items, die sich den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung widmen, zeigt Anlage 7. Die Ergebnisse zum Skalenindex sind Tabelle 78 zu entnehmen. Basierend auf einer Umpolung aller Items liegt dieser jeweils eher im positiven Bereich, d.h. beide Gruppen haben die visuelle Auswertung ihres Mediums als eher weniger schwierig empfunden.

Tabelle 78: Ergebnisse zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung (umgepolt)

	KENNWERTE					
	UG (*N* = 127)			VG (*N* = 108)		
	γ = 0,05	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**	**γ = 0,05**	**γ = 0,10**	**γ = 0,20**
M_γ ($SE_{(M\gamma)}$)	2,542 (0,070)	2,538 (0,069)	2,528 (0,072)	2,383 (0,069)	2,375 (0,071)	2,360 (0,077)
[95%-$KI_{(M\gamma)}$]	[2,405; 2,672]	[2,398; 2,668]	[2,384; 2,665]	[2,248; 2,523]	[2,242; 2,514]	[2,217; 2,507]
VAR_w	0,502	0,391	0,235	0,415	0,347	0,232
Hu / Tu / Ha / An	2,531 / 2,533 / 2,537 / 2,533			2,367 / 2,374 / 2,377 / 2,375		
MOM	2,541			2,419		
Median	2,556			2,333		
Ausreißer mBPR	0			1		
Ausreißer MAD-M	0			2		
	HYPOTHESENTESTS					
Varianzvergleich	0,001 [-0,227; 0,227]					
t-Tests	γ = 0,05: 0,159 [-0,032; 0,350], *p* = 0,095			γ = 0,20: 0,168 [-0,041; 0,372], *p* = 0,117		
	γ = 0,10: 0,163 [-0,030; 0,356], *p* = 0,089			MOM: 0,121 [-0,083; 0,373], *p* = 0,220		

6.2.3.3 Nützlichkeit der visuellen Auswertung

Die Nützlichkeit der visuellen Auswertung geben die Items in Tabelle 79 zu erkennen. Obschon bei beiden Gruppen mehrheitlich teilweise bis eher zutreffend, geben die Proband/innen der UG insgesamt sehr signifikant häufiger an, sich anhand der Auswertung die raum-zeitliche Dynamik des Braunkohleabbaus sehr gut vorstellen zu können. Sich die Auswirkungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen zu können, stimmt die Mehrheit beider Gruppen teilweise bis eher zu, wobei die Proband/innen der UG insgesamt sehr signifikant häufiger zustimmen und dabei u.a. sehr signifikant häufiger »Trifft eher völlig zu« angeben. Ökologische Folgen haben sich in beiden Gruppen die Meisten (eher) sehr gut vorstellen können; nur jeweils < 10% ist dies eher nicht gelungen. Auswirkungen auf die Gesellschaft haben sich in beiden Gruppen jeweils rund drei Viertel der Proband/innen teilweise bis eher sehr gut vorstellen können. Es besteht insgesamt jedoch ein signifikanter Unterschied zugunsten der UG, in der sehr signifikant häufiger mit »Trifft völlig zu« geantwortet wird.

Tabelle 79: Ergebnisse zur Nützlichkeit der visuellen Auswertung

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Sich die raumzeitliche Dynamik des Braunkohleabbaus sehr gut vorstellen können						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,396 [0,329; 0,466], p = 0,004**
UG (N = 127)	23,6%	**44,9%**	22,8%	8,7%	--	B: 0,396 [0,326; 0,465], p = 0,003**
VG (N = 108)	14,8%	**37,0%**	29,6%	13,0%	5,6%	
	p = 0,023[a]	p = 0,730	p = 0,082	p = 0,570	p = 0,870	p_{krit}: [a] 0,010
Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen können						
UG (N = 127)	10,2%	36,2%	**34,6%**	16,5%	2,4%	A: 0,392 [0,326; 0,463], p = 0,004**
VG (N = 108)	7,4%	20,4%	**41,7%**	23,1%	7,4%	B: 0,392 [0,346; 0,480], p = 0,003**
	p = 0,670	p = 0,002**	p = 0,220	p = 0,032[a]	p = 0,590	p_{krit}: [a] 0,013
Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen können						
UG (N = 127)	27,6%	**47,2%**	18,1%	7,1%	--	A: 0,475 [0,408; 0,544], p = 0,490
VG (N = 108)	23,1%	**50,0%**	17,6%	9,3%	--	B: 0,475 [0,406; 0,545], p = 0,484
Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Gesellschaft sehr gut vorstellen können						
UG (N = 127)	18,9%	**45,7%**	28,3%	6,3%	0,8%	
VG (N = 108)	10,2%	**41,7%**	34,3%	11,1%	2,8%	A: 0,412 [0,346; 0,482], p = 0,014*
	p = 0,010**	p = 0,380	p = 0,790	p = 0,160	p = 0,840	B: 0,412 [0,344; 0,481], p = 0,013*

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.3.4 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation

Wie subjektiv nützlich die Modifikation bei der visuellen Auswertung gewesen ist, zeigt Tabelle 80. Die Mehrheit beider Gruppen gibt an, Wissenslücken in der CM_{vorw} teilweise bis eher geschlossen zu haben. Jeweils rund zwei Drittel hat neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten teilweise bis eher erstellt. Jeweils über 90% der Proband/innen halten ihre CM_{mod} für teilweise bis völlig besser; ein Drittel der UG bzw. ein Fünftel der VG gibt »Trifft völlig zu« an.

Tabelle 80: Ergebnisse zur Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Wissenslücken in der CM_{vorw} schließen können						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,482 [0,413; 0,552], p = 0,620
UG (N = 127)	14,2%	**42,5%**	31,5%	10,2%	1,6%	B: 0,482 [0,411; 0,553], p = 0,620
VG (N = 108)	13,9%	**40,7%**	29,6%	12,0%	3,7%	
Neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten erstellen können						
UG (N = 127)	10,2%	37,8%	**30,7%**	15,0%	6,3%	A: 0,484 [0,414; 0,555], p = 0,670
VG (N = 108)	11,1%	33,3%	**30,6%**	21,3%	3,7%	B: 0,484 [0,412; 0,556], p = 0,662
CM_{mod} besser gelungen als CM_{vorw}						
UG (N = 127)	33,1%	**37,8%**	23,6%	4,7%	0,8%	A: 0,445 [0,376; 0,517], p = 0,140
VG (N = 108)	25,0%	**45,4%**	24,1%	5,6%	--	B: 0,445 [0,374; 0,517], p = 0,135

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.3.5 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation

Das Ausmaß der Handhabbarkeit und der Schwierigkeiten bei der Überarbeitung der CM_{vorw} geht aus dem Antwortverhalten zu den Items in Tabelle 81 hervor.

Tabelle 81: Ergebnisse zu Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Einfache CM_{vorw}-Modifikation mit CmapTools						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,470 [0,401; 0,540], p = 0,410
UG (N = 127)	21,3%	**35,4%**	30,7%	11,0%	1,6%	B: 0,470 [0,400; 0,540], p = 0,401
VG (N = 108)	18,5%	**29,6%**	32,4%	11,1%	8,3%	
Zufriedenheit mit der CM_{mod}						
UG (N = 127)	18,1%	**39,4%**	29,9%	11,8%	0,8%	A: 0,469 [0,401; 0,540], p = 0,400
VG (N = 108)	11,1%	**43,5%**	33,3%	8,3%	3,7%	B: 0,469 [0,400; 0,540], p = 0,391
Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation (umgepolt)						
UG (N = 127)	28,3%	**43,3%**	21,3%	6,3%	0,8%	A: 0,497 [0,428; 0,567], p = 0,940
VG (N = 108)	28,7%	**43,5%**	16,7%	9,3%	1,9%	B: 0,497 [0,427; 0,568], p = 0,938
Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Systeminformationen als Konzepte (umgepolt)						
UG (N = 127)	12,6%	**39,4%**	33,9%	13,4%	0,8%	A: 0,450 [0,382; 0,521], p = 0,180
VG (N = 108)	12,0%	29,6%	**39,8%**	17,6%	0,9%	B: 0,450 [0,380; 0,521], p = 0,170
Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten anhand von Systeminformationen (umgepolt)						
UG (N = 127)	11,0%	**43,3%**	32,3%	12,6%	0,8%	A: 0,504 [0,435; 0,573], p = 0,910
VG (N = 108)	13,9%	**37,0%**	39,8%	8,3%	0,9%	B: 0,504 [0,434; 0,575], p = 0,909
Schwierigkeiten bei der Erstellung passender Verbindungswörter anhand von Systeminformationen (umgepolt)						
UG (N = 127)	11,0%	38,6%	**29,1%**	18,1%	3,1%	A: 0,452 [0,382; 0,524], p = 0,190
VG (N = 108)	11,1%	28,7%	**32,4%**	25,0%	2,8%	B: 0,452 [0,380; 0,524], p = 0,189

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

Etwas mehr als die Hälfte der UG und etwas weniger als die Hälfte der VG bezeichnen in Tabelle 81 die Modifikation mittels CmapTools als (eher) einfach; von (eher) größeren Schwierigkeiten berichtet immerhin rund ein Zehntel der UG bzw. ein Fünftel der VG. Mit ihrer CM_{mod} teilweise bis eher zufrieden ist jeweils die Mehrheit, während rund ein Zehntel dies (eher) nicht ist. Die Mehrheit beider Gruppen berichtet von (eher) keinen Schwierigkeiten; lediglich rund ein Zehntel gibt (eher) große Komplikationen zu erkennen. In beiden Gruppen ist die Repräsentation von gewonnenen Systeminformationen als Konzepte teilweise bis eher nicht problematisch gewesen, wobei 15 – 20% von (eher) großen Schwierigkeiten berichten. Aufgrund von generierten Systeminformationen Konzepte miteinander zu verbinden, ist jeweils der Mehrheit beider Gruppen teilweise bis eher nicht schwer gefallen; Gegenteiliges berichtet je rund ein Zehntel. Die konstruierten Relationen mit einem passenden Verbindungswort zu beschreiben, ist mehrheitlich jeweils teilweise bis eher nicht schwer gefallen, wobei dies auf rund ein Fünftel der UG und ein Viertel der VG jedoch (eher) nicht zutrifft.

6.2.3.6 Interessantheit der CM_{vorw}-Modifikation

Das Ausmaß der Interessantheit der Modifikation geht aus Tabelle 82 hervor. Wie sich zeigt, hat die Mehrheit in beiden Gruppen teilweise bis eher Freude daran empfunden; (eher) keinen Spaß geben ein Fünftel der UG bzw. ein Viertel der VG an. Die mehrheitlich hohe Ablehnung beim Item zur Absorbiertheit korrespondiert nicht (ganz) mit dem vorangegangenen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Formulierung von Vielen als zu »übertrieben« wahrgenommen wurde. Dieser Erklärungsansatz wird unterstützt durch die mitunter hohe Zustimmung beider Gruppen beim darauffolgenden Item, bei dem 65 – 70% zu erkennen geben, dass die Modifikation teilweise bis eher keine langweilige Aufgabe gewesen ist; (eher) gelangweilt haben sich jedoch immerhin ca. 15 – 20%. Weniger als ein Fünftel gibt in beiden Gruppen an, sich bei der Modifikation (eher) angestrengt zu haben. Mehr als drei Viertel geben in beiden Gruppen an, sich nur teilweise bis eher nicht angestrengt zu haben.

Tabelle 82: Ergebnisse zur Interessantheit der CM_{vorw}-Modifikation

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					HYPOTHESENTESTS
Freude an der CM_{vorw}-Modifikation						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	A: 0,491[0,420; 0,562], p = 0,800
UG (N = 127)	10,2%	35,4%	**34,6%**	15,0%	4,7%	B: 0,491 [0,419; 0,563], p = 0,799
VG (N = 108)	11,1%	35,2%	**29,6%**	16,7%	7,4%	
Absorbiertheit durch Faszination an der CM_{vorw}-Modifikation						
UG (N = 127)	3,1%	7,9%	25,2%	**33,9%**	29,9%	A: 0,462 [0,392; 0,532], p = 0,290
VG (N = 108)	2,8%	8,3%	14,8%	**41,7%**	32,4%	B: 0,462 [0,391; 0,533], p = 0,288
Langeweile bei der CM_{vorw}-Modifikation (umgepolt)						
UG (N = 127)	15,7%	**39,4%**	28,3%	11,8%	4,7%	A: 0,483 [0,413; 0,553], p = 0,640
VG (N = 108)	13,0%	**41,7%**	24,1%	18,5%	2,8%	B: 0,483 [0,411; 0,554], p = 0,633
Große Mühe bei der CM_{vorw}-Modifikation						
UG (N = 127)	4,7%	11,0%	**39,4%**	38,6%	6,3%	A: 0,488 [0,417; 0,558], p = 0,740
VG (N = 108)	6,5%	13,0%	**38,9%**	30,6%	11,1%	B: 0,488 [0,416; 0,559], p = 0,732

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.2.3.7 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation

Inwiefern der für die Modifikation vorgegebene Zeitrahmen als angemessen wahrgenommen wurde, geht aus Tabelle 83 hervor. Es zeigt sich, dass jeweils rund drei Viertel den Zeitrahmen entweder als angemessen oder als zu lang empfunden haben. Bis zu 10 Minuten mehr hätte jeweils rund ein Fünftel der Proband/innen benötigt. Noch mehr Zeit benötigten nur Wenige in beiden Gruppen.

Tabelle 83: Ergebnisse zur Angemessenheit des Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation

TESTGRUPPEN	KENNWERTE						HYPOTHESENTESTS
	Zeit war zu lang	Zeit reichte aus	≤ 5 Min. mehr	5 - 10 Min. mehr	10 - 15 Min. mehr	> 15 Min. mehr	
UG (*N* = 127)	31,5%	**41,7%**	10,2%	11,8%	1,6%	3,1%	A: 0,459 [0,390; 0,529], *p* = 0,260 B: 0,459 [0,388; 0,530], *p* = 0,253
VG (*N* = 108)	39,8%	**37,0%**	8,3%	9,3%	1,9%	3,7%	

A = Test nach Cliff (*cidv2*), B = Test nach Brunner-Munzel (*bmp*)

6.3 Ergebnisse zum moderierenden Einfluss von KVs

Wegen der teilweisen Falsifizierung der H_2 wird die (ko-)varianzanalytische Untersuchung zum interagierenden Einfluss von KVs im Kontext der Forschungsfrage 3 durchgeführt. Nachfolgend sind die Testergebnisse der robusten ANOVA und ANCOVA für die KVs in Fragebogen A (Kapitel 6.3.2) und Fragebogen C (Kapitel 6.3.3) bei γ = 0,20 dargestellt. ANOVA bzw. ANCOVA beziehen sich auf jene beiden Auswertungsgrößen bei *D*, bei denen die beiden Testgruppen signifikante M_γ-Differenzen aufweisen: K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$. Mit Blick auf diese beiden werden potenzielle Einflüsse durch KVs in Fragebogen A und C (ko-)varianzanalytisch untersucht. Wegen der Vielzahl der durchgeführten Tests werden ausschließlich jene Ergebnisse ausführlicher behandelt, bei denen Signifikanz besteht: Dies bezieht sich sowohl auf die Haupteffekte der jeweiligen KV bzw. die Interaktionseffekte zwischen KV und Testgruppe bei der ANOVA (*bbmcp* und *bbmcppb*) als auch auf die Ergebnisse der ANCOVA (*ancova*, *ancovaWMW* und *ancdet*). Detaillierte Ergebnisse zu allen KVs, inklusive der nicht signifikant getesteten, sind Anlage 9 für die ANOVA und Anlage 10 für die ANCOVA zu entnehmen.

Bevor die Testergebnisse zum moderierenden Einfluss von KVs aus den beiden Fragebögen vorgestellt werden, sind zunächst die Ergebnisse zur Störvariable Schulklasse Gegenstand von Kapitel 6.3.1.

6.3.1 Bestimmung des Einflusses der Störvariable Schulklasse

Aufgrund des quasi-experimentellen Designs wird der potenzielle Einfluss der in die Testgruppen geschachtelten Störvariable Schulklasse über die R-Funktion *mcp.nestAP* bei γ = 0,20 ermittelt. Es wird für die Gruppen getrennt der potenzielle Einfluss der Klassenzugehörigkeit auf die Ausprägung der einzelnen Auswertungsgrößen bei *D* bestimmt: Im Bereich von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ dient diese Vorgehensweise dazu, um die bei ihnen in Kapitel 6.1.2.5 ermittelte signifikante M_γ-Differenz bei *D* auf die Gruppenzugehörigkeit (UV) und nicht auf die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Klasse zurückführen zu können. Die beiden nachfolgend vorgestellten Tabellen geben jeweils die von *mcp.nestAP* ermittelten *p*-Werte wieder. Eine detaillierte Darstellung der Testergebnisse findet sich in Anlage 8.

Tabelle 84 zeigt die unkorrigierten sowie die per α-Fehler-Kontrolle korrigierten *p*-Werte der 36 Kontraste für die insgesamt neun Klassen der UG im Bereich der Auswertungsgrößen auf der Grundlage von *D*. Wie unmittelbar zu erkennen ist, liegen nach α-Fehler-Kontrolle keine signifikanten Differenzen zwischen Klassen der UG vor. Bereits bei den unkorrigierten *p*-Werten offenbaren der K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und der CM-TS_D, für den Kontraste wegen der Werteverteilung nur bei γ = 0,05 möglich sind, keine Signifikanzen. Die absolute M_γ-Differenz umfasst vielfach nur wenige Einheiten der jeweils betroffenen

Auswertungsgröße; Ausnahmen im Sinne größerer Leistungskontraste zeigen sich teilweise beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$, CM-SRG$_D$, CM-SP$_D$, CM-VNI$_D$ und CM-KPG$_D$. Keine Klasse zeigt durchweg signifikante Abweichungen gegenüber den anderen Klassen der UG.

Tabelle 84: *p*-Werte der Kontraste der Klassen in der UG für die Auswertungsgrößen in der CM$_{vorw}$

	Unkorrigierte *p*-Werte	***p*-Werte nach α-Fehler-Kontrolle**
K-Wert$_{D\text{-}ELE}$	0,954, 0,174, 0,075, 0,559, 0,607, 0,472, 0,732, 0,233, 0,132, 0,052, 0,513, 0,541, 0,433, 0,676, 0,169, 0,661, 0,601, 0,358, 0,779, 0,335, 0,643, 0,386, 0,172, 0,556, 0,180, 0,308, 0,848, 0,865, 0,770, 0,800, 0,711, 0,890, 0,511, 0,650, 0,990, 0,471	Keine Korrektur notwendig
K-Wert$_{D\text{-}PRO}$	0,388, 0,411, 0,136, 0,687, 0,114, 0,843, 0,947, 0,236, 0,184, 0,102, 0,263, 0,096, 0,318, 0,515, 0,914, 0,360, 0,524, 0,286, 0,488, 0,592, 0,034*, 0,082, 0,934, 0,139, 0,386, 0,007**, 0,045*, 0,838, 0,770, 0,070, 0,111, 0,373, 0,005**, 0,851, 0,142, 0,487	0,635, 0,644, 0,393, 0,853, 0,393, 0,928, 0,947, 0,566, 0,473, 0,393, 0,591, 0,393, 0,635, 0,699, 0,947, 0,635, 0,699, 0,606, 0,699, 0,761, 0,393, 0,393, 0,947, 0,393, 0,635, 0,119, 0,393, 0,928, 0,924, 0,393, 0,393, 0,635, 0,119, 0,928, 0,393, 0,699
S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$	0,835, 0,086, 0,014*,0,080, 0,178, 0,187, 0,268, 0,437, 0,208, 0,065, 0,193, 0,311, 0,345, 0,442, 0,661, 0,295, 0,914, 0,870, 0,709, 0,553, 0,225, 0,401, 0,359, 0,198, 0,171, 0,019*, 0,805, 0,648, 0,506, 0,209, 0,874, 0,725, 0,418, 0,830, 0,467, 0,629	0,899, 0,616, 0,337, 0,616, 0,624, 0,624, 0,689, 0,723, 0,624, 0,616, 0,624, 0,700, 0,719, 0,723, 0,850, 0,700, 0,914, 0,899, 0,870, 0,796, 0,624, 0,723, 0,719, 0,624, 0,624, 0,337, 0,899, 0,850, 0,758, 0,624, 0,899, 0,870, 0,723, 0,899, 0,732, 0,850
S-Wert$_{D\text{-}PRO}$	0,198, 0,017*, 0,004**, 0,064, 0,811, 0,216, 0,897, 0,067, 0,020*, 0,014*, 0,025*, 0,238, 0,062, 0,579, 0,042*, 0,735, 0,921, 0,261, 0,503, 0,389, 0,447, 0,883, 0,187, 0,331, 0,339, 0,231, 0,275, 0,519, 0,378, 0,501, 0,546, 0,812, 0,468, 0,550, 0,931, 0,519	0,611, 0,180, 0,126, 0,268, 0,913, 0,611, 0,931, 0,268, 0,180, 0,180, 0,180, 0,611, 0,268, 0,719, 0,255, 0,882, 0,931, 0,620, 0,707, 0,700, 0,707, 0,931, 0,611, 0,680, 0,680, 0,611, 0,620, 0,707, 0,700, 0,707, 0,707, 0,913, 0,707, 0,707, 0,931, 0,707
CM-SRG$_D$	0,167, 0,657, 0,144, 0,197, 0,663, 0,841, 0,598, 0,350, 0,252, 0,996, 0,664, 0,555, 0,092, 0,603, 0,017*, 0,215, 0,296, 0,876, 0,465, 0,804, 0,102, 0,633, 0,546, 0,070, 0,595, 0,009**, 0,703, 0,085, 0,765, 0,005**, 0,553, 0,944, 0,282, 0,493, 0,411, 0,253	0,668, 0,824, 0,650, 0,700, 0,824, 0,917, 0,824, 0,788, 0,700, 0,996, 0,824, 0,824, 0,524, 0,824, 0,202, 0,700, 0,710, 0,927, 0,824, 0,904, 0,524, 0,824, 0,824, 0,524, 0,824, 0,158, 0,844, 0,524, 0,889, 0,158, 0,824, 0,971, 0,710, 0,824, 0,824, 0,700
CM-GU$_D$	0,660, 0,044*, 0,003**, 0,163, 0,302, 0,087, 0,499, 0,265, 0,068, 0,015*, 0,141, 0,240, 0,096, 0,366, 0,236, 0,261, 0,791, 0,353, 0,862, 0,571, 0,212, 0,249, 0,059, 0,227, 0,251, 0,014*, 0,606, 0,912, 0,729, 0,499, 0,475, 0,981, 0,901, 0,653, 0,343, 0,922	0,820, 0,398, 0,116, 0,530, 0,572, 0,432, 0,719, 0,530, 0,408, 0,181, 0,530, 0,530, 0,432, 0,599, 0,530, 0,530, 0,918, 0,599, 0,948, 0,791, 0,530, 0,530, 0,408, 0,530, 0,530, 0,181, 0,808, 0,948, 0,875, 0,719, 0,719, 0,981, 0,948, 0,820, 0,599, 0,948
CM-TS$_D$ (γ = 0,05)	0,302, 0,924, 0,580, 0,956, 0,280, 0,696, 0,580, 0,475, 0,230, 0,339, 0,181, 0,544, 0,560, 0,339, 0,904, 0,479, 0,950, 0,280, 0,710, 0,479, 0,478, 0,331, 0,351, 10,000, k0,A0,, 0,607, 0,268, 0,665, 0,331, 0,457, 0,384, 0,351, 0,677, 10,000, 0,648, 0,607	Keine Korrektur notwendig
CM-SP$_D$	0,728, 0,033*, 0,013*, 0,134, 0,833, 0,167, 0,321, 0,669, 0,170, 0,094, 0,317, 0,846, 0,443, 0,243, 0,475, 0,517, 0,807, 0,035*, 0,311, 0,055, 0,006**, 0,525, 0,014*, 0,107, 0,044*, 0,002**, 0,155, 0,649, 0,066, 0,055, 0,192, 0,258, 0,489, 0,095, 0,053, 0,453	0,794, 0,199, 0,124, 0,321, 0,846, 0,340, 0,481, 0,753, 0,340, 0,264, 0,481, 0,846, 0,628, 0,437, 0,629, 0,630, 0,846, 0,199, 0,481, 0,199, 0,111, 0,630, 0,124, 0,275, 0,199, 0,063, 0,340, 0,753, 0,215, 0,199, 0,363, 0,441, 0,629, 0,264, 0,199, 0,628
CM-VNI$_D$	0,182, 0,336, 0,901, 0,859, 0,608, 0,892, 0,265, 0,696, 0,548, 0,108, 0,128, 0,247, 0,116, 0,010**, 0,214, 0,190, 0,241, 0,496, 0,219, 0,006**, 0,426, 0,920, 0,511, 0,741, 0,036*, 0,657, 0,596, 0,702, 0,039*, 0,737, 0,453, 0,024*, 0,873, 0,274, 0,543, 0,032*	0,580, 0,671, 0,920, 0,920, 0,842, 0,920, 0,580, 0,861, 0,823, 0,513, 0,513, 0,580, 0,513, 0,186, 0,580, 0,580, 0,580, 0,823, 0,580, 0,186, 0,806, 0,920, 0,823, 0,861, 0,237, 0,861, 0,842, 0,861, 0,237, 0,861, 0,815, 0,237, 0,920, 0,580, 0,823, 0,237
CM-KPG$_D$	0,761, 0,031*, 0,002**, 0,203, 0,207, 0,190, 0,321, 0,039*, 0,090, 0,028*, 0,218, 0,233, 0,201, 0,299, 0,134, 0,353, 0,713, 0,551, 0,792, 0,540, 0,580, 0,293, 0,174, 0,357, 0,219, 0,082, 0,885, 0,937, 0,830, 0,985, 0,820, 0,929, 0,821, 0,772, 0,933, 0,768	0,964, 0,353, 0,079, 0,558, 0,558, 0,558, 0,641, 0,353, 0,542, 0,353, 0,558, 0,558, 0,558, 0,634, 0,558, 0,643, 0,964, 0,902, 0,964, 0,902, 0,908, 0,634, 0,558, 0,643, 0,558, 0,542, 0,964, 0,964, 0,964, 0,985, 0,964, 0,964, 0,964, 0,964, 0,964, 0,964

Die *p*-Werte der 28 Kontraste für die acht Klassen der VG sind Gegenstand von Tabelle 85. Wie darin zu erkennen ist, weisen die unkorrigierten *p*-Werte auf z.T. signifikante Klassenunterschiede hin bei allen Auswertungsgrößen außer dem K-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und dem CM-TS$_D$, für den aufgrund der Werteverteilung keine Kontraste erstellt werden können. Nach α-Fehler-Kontrolle erweisen sich vier Kontraste beim CM-SRG$_D$, zwei beim CM-GU$_D$ und drei beim CM-KPG$_D$ weiterhin als signifikant. Es besteht eine

größere absolute M_γ-Differenz z.T. beim CM-SRG_D, CM-SP_D, CM-VNI_D und CM-KPG_D, während die Leistungen der Klassen bei den anderen Auswertungsgrößen durchaus homogen sind.

Tabelle 85: *p*-Werte der Kontraste der Klassen in der VG für die Auswertungsgrößen in der CM_{vorw}

	Unkorrigierte *p*-Werte	***p*-Werte nach α-Fehler-Kontrolle**
K-$Wert_{D\text{-}ELE}$	0,787, 0,082, 0,250, 0,081, 0,855, 0,092, 0,167, 0,075, 0,283, 0,067, 0,606, 0,081, 0,175, 0,306, 0,891, 0,028*, 0,825, 0,526, 0,280, 0,118, 0,342, 0,681, 0,023*, 0,915, 0,544, 0,030*, 0,070, 0,619	0,915, 0,255, 0,494, 0,255, 0,915, 0,258, 0,377, 0,255, 0,494, 0,255, 0,788, 0,255, 0,377, 0,504, 0,915, 0,255, 0,915, 0,762, 0,494, 0,300, 0,532, 0,830, 0,255, 0,915, 0,762, 0,255, 0,255, 0,788
K-$Wert_{D\text{-}PRO}$	0,229, 0,855, 0,205, 0,493, 0,375, 0,413, 0,424, 0,158, 0,928, 0,553, 0,617, 0,749, 0,792, 0,113, 0,352, 0,229, 0,316, 0,333, 0,577, 0,648, 0,796, 0,841, 0,888, 0,819, 0,800, 0,904, 0,878, 0,971	Keine Korrektur notwendig
S-$Wert_{D\text{-}BEZ}$	0,947, 0,230, 0,593, 0,238, 0,504, 0,548, 0,470, 0,020*, 0,367, 0,018*, 0,235, 0,283, 0,234, 0,171, 0,898, 0,245, 0,176, 0,377, 0,157, 0,805, 0,913, 0,726, 0,232, 0,163, 0,383, 0,880, 0,895, 0,786	0,947, 0,572, 0,831, 0,572, 0,783, 0,808, 0,773, 0,276, 0,700, 0,276, 0,572, 0,609, 0,572, 0,572, 0,947, 0,572, 0,572, 0,700, 0,572, 0,947, 0,947, 0,947, 0,572, 0,572, 0,700, 0,947, 0,947, 0,947
S-$Wert_{D\text{-}PRO}$	0,031*, 0,362, 0,136, 0,947, 0,026*, 0,805, 0,814, 0,009**, 0,229, 0,084, 0,423, 0,351, 0,117, 0,025*, 0,625, 0,012*, 0,556, 0,419, 0,320, 0,108, 0,722, 0,445, 0,043*, 0,795, 0,815, 0,175, 0,058, 0,921	0,175, 0,633, 0,346, 0,947, 0,175, 0,878, 0,878, 0,164, 0,494, 0,293, 0,656, 0,633, 0,328, 0,175, 0,833, 0,164, 0,779, 0,656, 0,633, 0,328, 0,878, 0,656, 0,199, 0,878, 0,878, 0,409, 0,231, 0,947
CM-SRG_D	0,090, 0,031*, 0,003**, 0,096, 0,749, 0,003**, 0,147, 0,897, 0,445, 0,774, 0,108, 0,167, 0,801, 0,192, 0,820, 0,019*, 0,065, 0,855, 0,215, 0,001***, 0,342, 0,298, 0,109, 0,071, 0,994, 0,003**, 0,179, 0,108	0,236, 0,144, 0,024*, 0,236, 0,918, 0,024*, 0,295, 0,930, 0,593, 0,918, 0,236, 0,312, 0,918, 0,315, 0,918, 0,109, 0,236, 0,921, 0,334, 0,024*, 0,479, 0,440, 0,236, 0,236, 0,994, 0,024*, 0,313, 0,236
CM-GU_D	0,359, 0,137, 0,579, 0,247, 0,541, 0,944, 0,305, 0,001***, 0,018*, 0,001***, 0,721, 0,334, 0,009**, 0,128, 0,481, 0,009**, 0,172, 0,494, 0,292, 0,115, 0,650, 0,443, 0,020*, 0,299, 0,919, 0,500, 0,043*, 0,357	0,559, 0,385, 0,676, 0,559, 0,659, 0,944, 0,559, 0,018*, 0,091, 0,018*, 0,776, 0,559, 0,065, 0,385, 0,636, 0,065, 0,437, 0,636, 0,559, 0,385, 0,728, 0,636, 0,091, 0,559, 0,944, 0,636, 0,172, 0,559
CM-TS_D	k.A.	k.A.
CM-SP_D	0,354, 0,439, 0,963, 0,341, 0,628, 0,371, 0,371, 0,031*, 0,201, 0,022*, 0,576, 0,024*, 0,025*, 0,133, 0,715, 0,091, 0,819, 0,825, 0,037*, 0,514, 0,061, 0,050*, 0,050*, 0,879, 0,826, 0,061, 0,059, 0,975	0,611, 0,682, 0,975, 0,611, 0,838, 0,611, 0,611, 0,171, 0,433, 0,171, 0,806, 0,171, 0,171, 0,309, 0,911, 0,232, 0,925, 0,925, 0,171, 0,758, 0,171, 0,171, 0,171, 0,947, 0,925, 0,171, 0,171, 0,975
CM-VNI_D	0,383, 0,506, 0,186, 0,884, 0,952, 0,885, 0,412, 0,716, 0,035*, 0,271, 0,387, 0,463, 0,097, 0,022*, 0,338, 0,515, 0,618, 0,099, 0,168, 0,137, 0,146, 0,581, 0,822, 0,759, 0,434, 0,926, 0,347, 0,335	0,758, 0,758, 0,650, 0,952, 0,952, 0,952, 0,758, 0,911, 0,496, 0,758, 0,758, 0,758, 0,650, 0,496, 0,758, 0,758, 0,824, 0,650, 0,650, 0,650, 0,650, 0,814, 0,952, 0,924, 0,758, 0,952, 0,758, 0,758
CM-KPG_D	0,768, 0,084, 0,495, 0,134, 0,485, 0,543, 0,581, 0,004**, 0,412, 0,026*, 0,116, 0,613, 0,621, 0,019*, 0,651, 0,001***, 0,275, 0,037*, 0,099, 0,037*, 0,918, 0,854, 0,033**, 0,404, 0,113, 0,166, 0,077, 0,839	0,860, 0,263, 0,730, 0,289, 0,730, 0,756, 0,756, 0,036*, 0,679, 0,147, 0,271, 0,756, 0,756, 132, 0,759, 0,023*, 0,514, 0,150, 0,271, 0,150, 0,918, 0,885, 0,036*, 0,679, 0,271, 0,332, 0,263, 0,885

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung wird deutlich, dass Unterschiede auf der Klassenebene, die die Individualebene überlagert, nach α-Fehler-Kontrolle nur im Bereich der VG zu erkennen sind. Hier bleiben wenige signifikante Abweichungen auch nach α-Fehler-Kontrolle bestehen. In Bezug auf die UG sind nach α-Fehler-Kontrolle keine signifikanten Abweichungen gegeben. Es ist bei beiden Testgruppen bei den unkorrigierten wie korrigierten *p*-Werten kein systematisches Muster zu erkennen, das darauf schließen lässt, dass eine bestimmte Klasse gegenüber den anderen Klassen der jeweiligen Testgruppe eine signifikant abweichende Leistung bei der Mehrheit oder bei allen Auswertungsgrößen zeigt. Differenzierter betrachtet fällt lediglich auf, dass die Leistungen in der VG etwas heterogener sind als in der UG. Insgesamt erscheint es vor dem o.g. Hintergrund gerechtfertigt, die Untersuchung des moderierenden Einflusses von KVs auf der übergeordneten Ebene der beiden Testgruppen durchzuführen, da die unsystematisch bestehenden Klassenunterschiede in Anlehnung an Sommer (2005) durchaus ein Ausdruck der natürlichen Heterogenität zwischen Schulklassen sein können.

6.3.2 KVs in Fragebogen A

Gegenstand dieses Kapitels sind die Ergebnisse zu den moderierenden Einflüssen von KVs in Fragebogen A.

6.3.2.1 Grunddaten der Proband/innen

Faktor »Geschlecht«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt, obschon alle Probandinnen beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ im getrimmten Mittel gemäß *bbmcp* 2,202 [-0,206; 4,610] (p = 0,073) bzw. gemäß *bbmcppb* 2,202 [-0,156; 4,622] (p = 0,072) Punkte mehr erreicht haben als alle Probanden.

Faktor »Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Nach *bbmcppb* besteht ein signifikanter Interaktionseffekt (p = 0,011*) bei einer M_γ-Differenz von 4,646 [1,074; 8,147] Punkten, wobei diese zwischen den Proband/innen mit deutscher Sprache von Geburt an und denen mit später erlernter deutscher Sprache in der VG im getrimmten Mittel um die o.g. Punktezahl größer ist als in der UG[141] (moderater Effekt: r_e = 0,383) vor. Wie Abbildung 54 zeigt, besteht eine ordinale Interaktion, sodass der Haupteffekt interpretiert werden kann: Gemäß *bbmcppb* liegt eine hochsignifikante ($p < 0{,}001$***) Punktedifferenz zwischen denjenigen Proband/innen beider Gruppen vor, die Deutsch von Geburt an sprechen, und jenen, die Deutsch später erlernt haben; erstere haben 8,979 [5,494; 12,661][142] Punkte mehr als letztere (großer Effekt: r_e = 0,489). Es ist in Bezug auf die o.g. Ergebnisse anzumerken, dass die Antwortkategorie »Seit … Jahren« lediglich drei Werte aus der UG (Median = 10,000 Punkte) und nur zwei Werte (Median = 2,000 Punkte) aus der VG enthält, weshalb es sich in Abbildung 54 in Bezug auf diese Kategorie (Faktorstufe) nicht um M_γ, sondern um M handelt. Die o.g. Ergebnisse sind mit Vorsicht zu interpretieren.

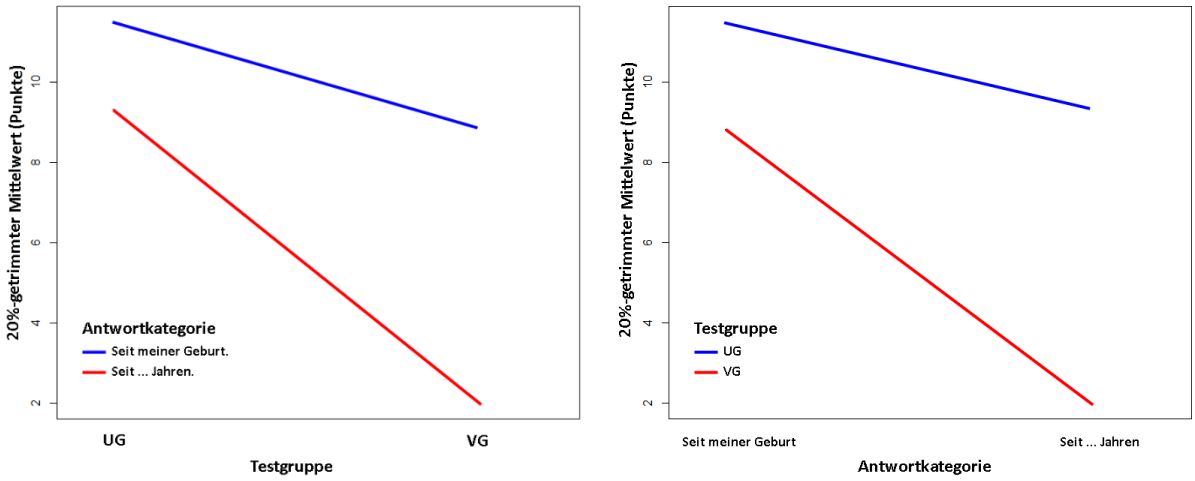


Abbildung 54: Diagramme zur Interaktion der ANOVA-Faktoren Testgruppe und »Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache« beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

[141] Proband/innen der UG mit deutscher Sprache seit Geburt: M_γ = 11,500 Punkte; Proband/innen der UG mit später erlernter deutscher Sprache: M = 9,333 Punkte; Proband/innen der VG mit deutscher Sprache seit Geburt: M_γ = 8,813 Punkte; Proband/innen der VG mit später erlernter deutscher Sprache: M = 2,000 Punkte

[142] *bbmcp*: p = 0,012*, M_γ-Differenz: 8,979 [3,207; 14,751]

Faktor »Gesehene Zahl beim Ishihara-Farbtest«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt, wobei in beiden Gruppen diejenigen, die die Zahl richtig erkannt haben, im getrimmten Mittel gemäß *bbmcp* 2,726 [-0,171; 5,623] (p = 0,064) bzw. gemäß *bbmcppb* 2,726 [-0,454; 5,056] (p = 0,090) Punkte mehr haben.

Faktor »Klassenstufe«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Stunden Erdkunde/GWG pro Woche«

Die Antwortkategorie »Kein Erdkunde/GWG« ist mit »2 Stunden« zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt, obschon die Proband/innen beider Gruppen mit 4 Stunden pro Woche im getrimmten Mittel nach *bbmcp* 2,609 [-0,550; 5,767] (p = 0,098) bzw. gemäß *bbmcppb* 2,609 [-0,162; 5,300] (p = 0,066) Punkte mehr erreicht haben.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcp* und *bbmcppb* deuten auf einen (sehr) signifikanten Haupteffekt hin. Gemäß *bbmcp* (p = 0,012*) weisen diejenigen Proband/innen beider Gruppen, die das Fach vier Stunden in der Woche haben, im getrimmten Mittel 7,648 [1,844; 13,452][143] Punkte mehr auf als diejenigen, die das Fach überhaupt nicht oder nur mit zwei Stunden pro Woche haben (moderater Effekt: r_e = 0,331).

Faktor »Letzte Note im Fach Erdkunde/GWG«

Die Antwortkategorie »Ausreichend« ist mit der Kategorie »Befriedigend« zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Letzte Note im Fach Deutsch«

Die Antwortkategorien »Mangelhaft« und »Ausreichend« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ (nach α-Fehler-Kontrolle) und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Letzte Note im Fach Mathematik«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ (nach α-Fehler-Kontrolle): Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Kovariate »Alter«

Sowohl bei K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als auch S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ sind die im Rahmen der robusten ANCOVA verwendeten Regressionslinien nicht-linear: Wie aus Abbildung 55[144] hervorgeht, weist die UG gemäß *lplot2g* und *runmean2g* im Vergleich zur VG bei den Auswertungsgrößen höhere Werte auf, während der Verlauf der Regressionslinien überwiegend parallel ist.

---

[143] *bbmcppb*: p = 0,006**, M_γ-Differenz: 7,648 [2,082; 12,932]

[144] Die dargestellten Diagramme stellen die Beziehung zwischen der AV auf der Y-Achse und der Kovariate auf der X-Achse in Bezug auf die beiden Testgruppen dar. Die korrigierten Gruppenwerte bei der AV sind für die UG mit »o« und für die VG mit »+« markiert. Die durchgezogene Linie drückt die Regressionslinie bezogen auf die korrigierten Werte der UG aus, während die gestrichelte Linie den regressionsanalytisch beschriebenen Zusammenhang für die VG widergibt.

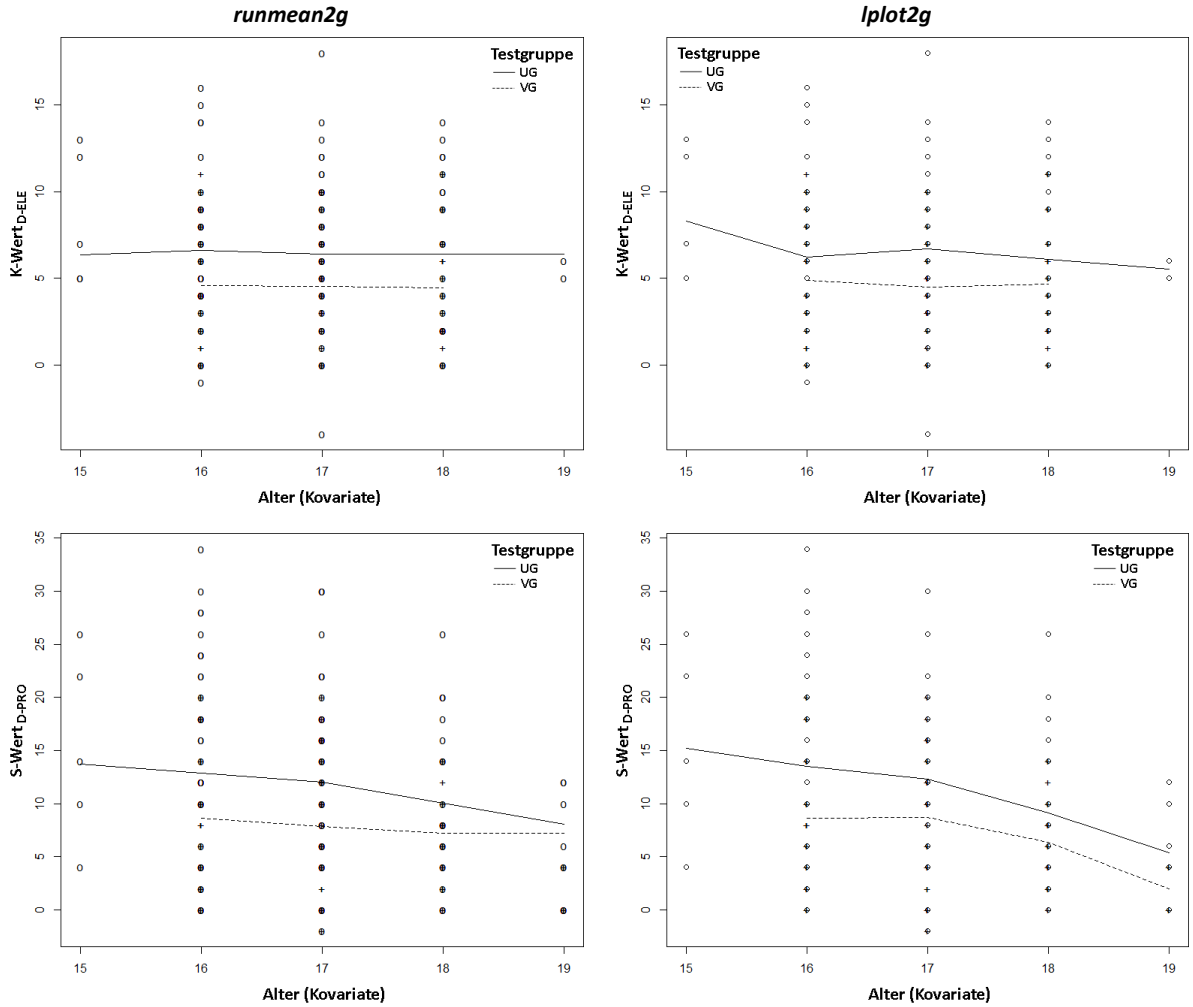


Abbildung 55: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Alter

Wegen der nicht-linearen Regressionslinien werden *ancovaWMW* und *ancdet* eingesetzt[145]. Die kovarianzanalytischen Testergebnisse weisen für den K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ stellenweise auf signifikante Gruppenunterschiede hin: nach α-Fehler-Kontrolle deutet *ancovaWMW* sehr signifikante (p = 0,008** bzw. p = 0,009**) M_γ-Unterschiede an. Diese Erkenntnis wird bestätigt durch *ancdet*: die p-Werte weisen auf einen sehr signifikanten Unterschied im statistischen Altersbereich von 15,8 – 16,7 Jahren hin. Die M_γ-Differenz beträgt bei den 16-Jährigen 0,381 [0,301; 0,468] Punkte und bei den 17-Jährigen 0,396 [0,323; 0,504] Punkte, und zwar jeweils zugunsten der UG; die Proband/innen der UG zeigen in 58,5% (16-Jährige) bzw. 57,1% (17-Jährige) der Fälle einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als die der VG.

Die kovarianzanalytischen Ergebnisse für den S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ deuten (nach α-Fehler-Kontrolle) keine signifikanten Gruppenunterschiede bei Kontrolle der KV Alter an.

6.3.2.2 Vorerfahrung und Selbstwirksamkeit Computerumgang

Faktor »Vorerfahrung im Computerumgang«

Die Antwortkategorien »Überhaupt keine«, »Wenig« und »Mittelmäßig« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

[145] Aufgrund gleicher Bezugswerte wird die Funktion *ancova* hier nicht eingesetzt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcppb* weist einen sehr signifikanten (p = 0,010**) Interaktionseffekt im Bereich der Antwortkategorien »Viel« und »Sehr viel« aus. Die M_γ-Differenz beträgt 8,848 [0,935; 16,831] Punkte (großer Effekt: r_e = 0,496), wobei die Punktedifferenz zwischen den beiden Kategorien bei der VG größer ist als bei der UG[146]. Gemäß Abbildung 56 ist die Interaktion zwischen Gruppe und Faktor disordinaler Art, sodass Haupteffekte nicht interpretiert werden können. In der Konsequenz ist der in Kapitel 6.1.2.5 aufgedeckte Gruppenunterschied beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ bei Berücksichtigung dieses Faktors nicht gegeben.

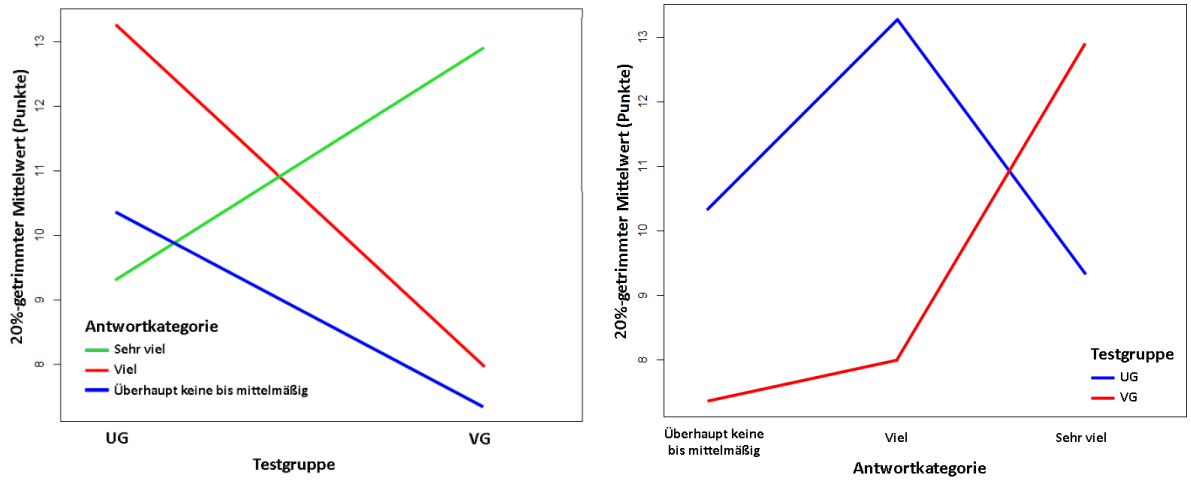


Abbildung 56: Diagramme zur Interaktion der ANOVA-Faktoren Testgruppe und »Vorerfahrung im Computerumgang« beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Faktor »Dauer der täglichen Computernutzung«

Die Antwortkategorie »Keine Nutzung« ist mit der Kategorie »< 0,5 Stunden« sowie die Kategorie »> 4 Stunden« mit der Kategorie »2 – 4 Stunden« zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Kovariate Skalenindex »Selbstwirksamkeit Computerumgang«

Bei Kontrolle der Selbstwirksamkeit im Umgang mit dem Computer ist der Verlauf der Regressionslinien beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ nach *runmean2g* bei der VG linear, während bei der UG eine leichte Krümmung vorliegt; gemäß *lplot2g* ist die Linie der VG linear und bei der UG deutlich nicht linear (Abbildung 57). Für den S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ liegen bei den Testgruppen jeweils nicht-lineare Verläufe vor. In allen o.g. Fällen zeigt die UG im getrimmten Mittel höhere Punktwerte als die VG.

Die Ergebnisse von *ancova*, *ancovaWMW* und *ancdet* weisen sowohl beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als auch beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ keine signifikanten Ergebnisse aus. Die von *ancova* ausgewiesenen Signifikanzen sind nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr gegeben.

[146] Proband/innen der UG mit »Viel«: M_γ = 13,273 Punkte; Proband/innen der UG mit »Sehr viel«: M_γ = 9,333 Punkte; Proband/innen der VG mit »Viel«: M_γ = 8,000 Punkte; Proband/innen der VG mit »Sehr viel«: M_γ = 12,909 Punkte

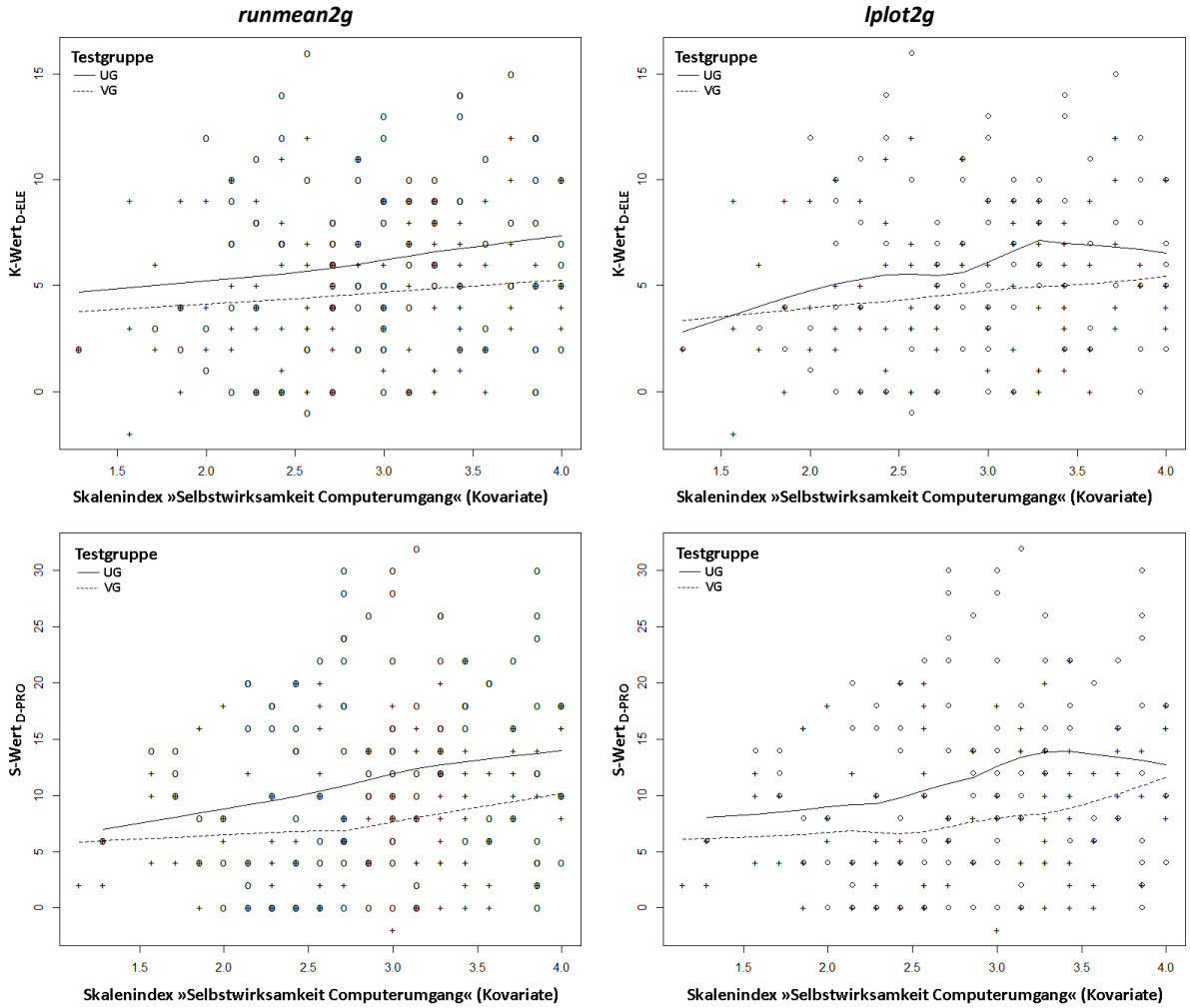


Abbildung 57: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Selbstwirksamkeit Computerumgang«

6.3.2.3 Vorwissen Thema Braunkohleabbau

Faktor »Vorwissen zum Thema Braunkohleabbau«

Die Antwortkategorien »Sehr viel«, »Viel« und »Mittelmäßig« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

6.3.2.4 Nutzungshäufigkeit und Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein

Faktor »Bevorzugte Ansicht in Google Maps«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

6.3.2.5 Vorerfahrung Mind Mapping und Concept Mapping

Faktor »Vorerfahrung im Mind Mapping«

Die Antwortkategorien »Überhaupt keine«, »Wenig« und »Mittelmäßig« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

6.3.3 KVs in Fragebogen C

Gegenstand dieses Kapitels sind die Ergebnisse zu den (moderierenden) Einflüssen von KVs in Fragebogen C, die im Bereich der ANCOVA wegen der statistischen Abhängigkeit der Kovariaten mit Vorsicht zu interpretieren sind.

6.3.3.1 Intrinsische Motivation bei der visuellen Auswertung

Kovariate Skalenindex »Interesse/Vergnügen an der visuellen Auswertung«

Mit Blick auf das empfundene Interesse an bzw. Vergnügen bei der visuellen Auswertung des jeweiligen Mediums zeigen die Proband/innen der UG beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ wie S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ allgemein einen größeren Zuwachs als die der VG. Allerdings konvergieren beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ die jeweils nicht-linearen Regressionslinien gemäß *runmean2g* bei einem steigenden Index-Wert zunehmend, während sie bei *lplot2g* zunächst konvergieren und ab einem Index-Wert von ca. 2,9 wieder divergieren. Beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ verlaufen sie bei *runmean2g* und *lplot2g* vergleichsweise parallel (Abbildung 58).

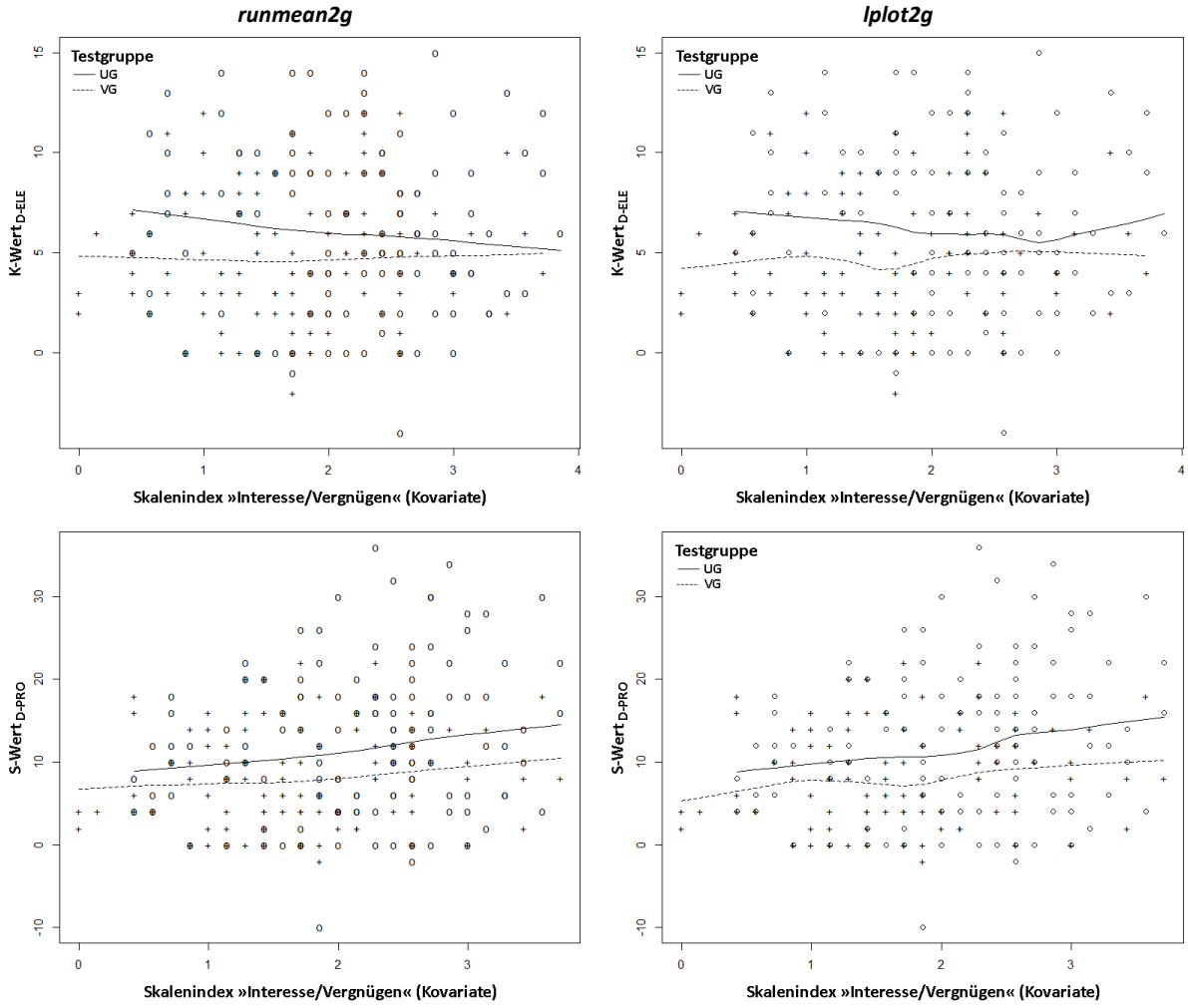


Abbildung 58: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Interesse/Vergnügen«

Wie *ancova*, *ancovaWMW* und *ancdet* zeigen, besteht bei beiden Auswertungsgrößen keine signifikante Gruppendifferenz nach der Kontrolle durch diese Kovariate.

Kovariate Skalenindex »Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung«

Werden K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ unter dem Gesichtspunkt betrachtet, wie sehr sich die Proband/innen bei der visuellen Auswertung angestrengt haben bzw. für wie wichtig sie es empfunden haben, bei der visuellen Auswertung gut abzuschneiden, zeigt sich Folgendes (Abbildung 59): ab einem Index-Wert von ca. 2,0 nimmt der Punktezuwachs der UG gegenüber der VG kontinuierlich zu. Wie die jeweils nicht-linearen Regressionslinien beider Gruppen erkennen lassen, ist die Differenz, um die K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ zugenommen haben, bei einem Index-Wert unter ca. 2,0 nur gering. Beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ haben in diesem Bereich jene Proband/innen der VG mit einem Index-Wert unter ca. 1,0 (*runmean2g*) bzw. ca. 1,5 (*lplot2g*) etwas mehr Punkte erreicht als die der UG; oberhalb von ca. 1,0 bzw. ca. 1,5 sind es dann die Proband/innen der UG, die durchgehend größere Zuwächse erzielt haben.

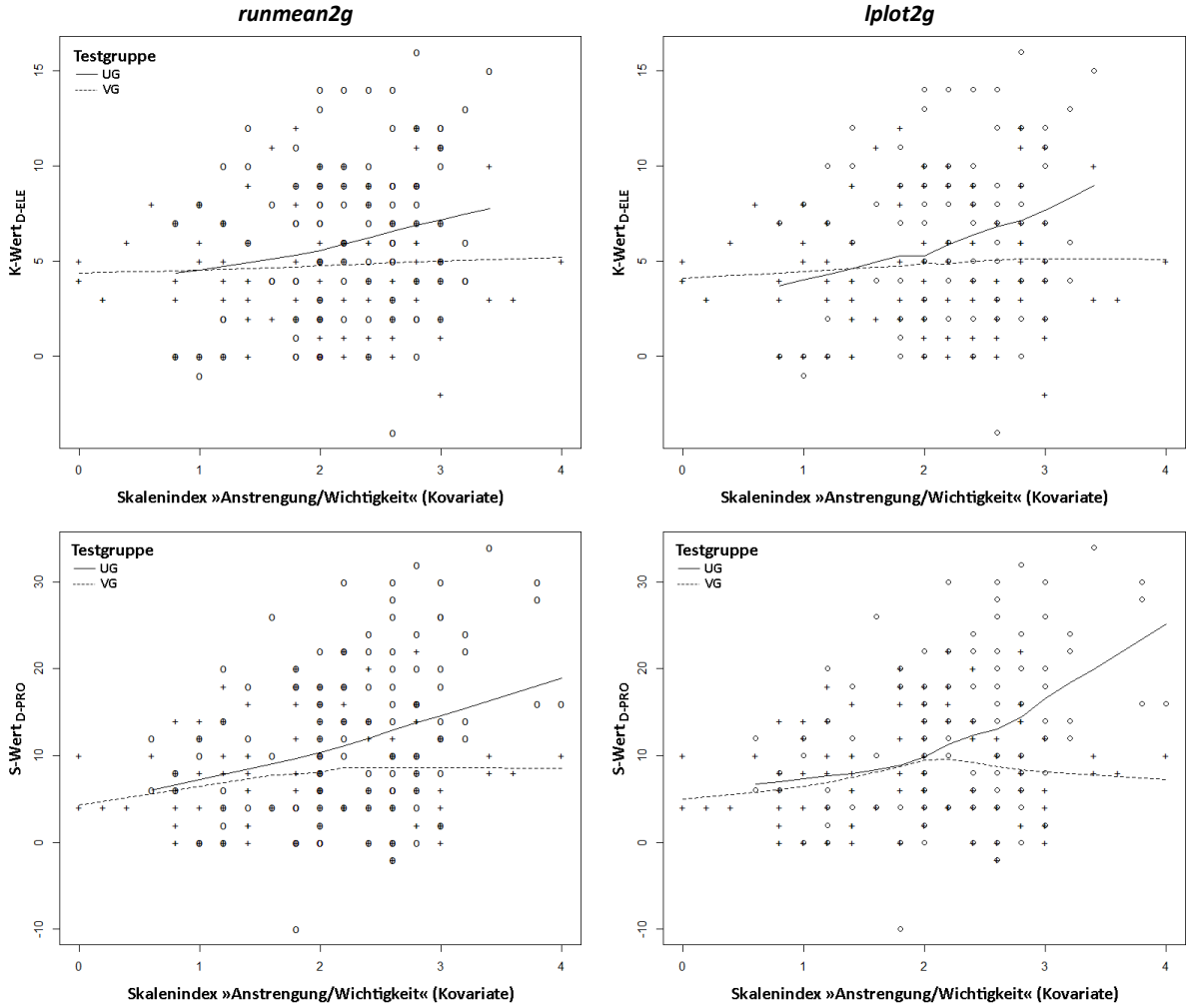


Abbildung 59: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Anstrengung/Wichtigkeit«

Die Kovarianzanalyse mittels *ancova* (mit fr=0.8), *ancovaWMW* und *ancdet* weist darauf hin, dass bei den beiden Auswertungsgrößen – trotz der steigenden Punktdifferenz bei einem Skalenindex-Wert größer ca. 2,0 – kein signifikanter M_γ-Unterschied vorkommt. Die von *ancova* bei beiden Auswertungsgrößen ausgewiesene Signifikanz besteht nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr.

Kovariate Skalenindex »Wahrgenommene Kompetenz bei der visuellen Auswertung«

Findet die wahrgenommene Kompetenz bei der visuellen Auswertung Berücksichtigung, deuten die nicht-linearen Regressionslinien darauf hin, dass ab einem Index-Wert von ca. 1,0 (*lplot2g*) bzw. ca. 1,1 (*runmean2g*) der K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bei den Proband/innen der UG stärker zugelegt hat als bei denen aus der VG; das Gleiche gilt für den S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ (Abbildung 60) ab einem Index-Wert von ca. 0,7 – 0,8 (*lplot2g* und *runmean2g*). Auffällig ist, dass ab einem Wert größer ca. 2,5 der Zuwachs bei beiden Auswertungsgrößen bei den Proband/innen der VG rückläufig ist (abflachende Regressionslinie). Wegen des gleichzeitigen Anstiegs bei der UG wird die mittlere Punktedifferenz mit zunehmendem Index-Wert größer (divergente Regressionslinien).

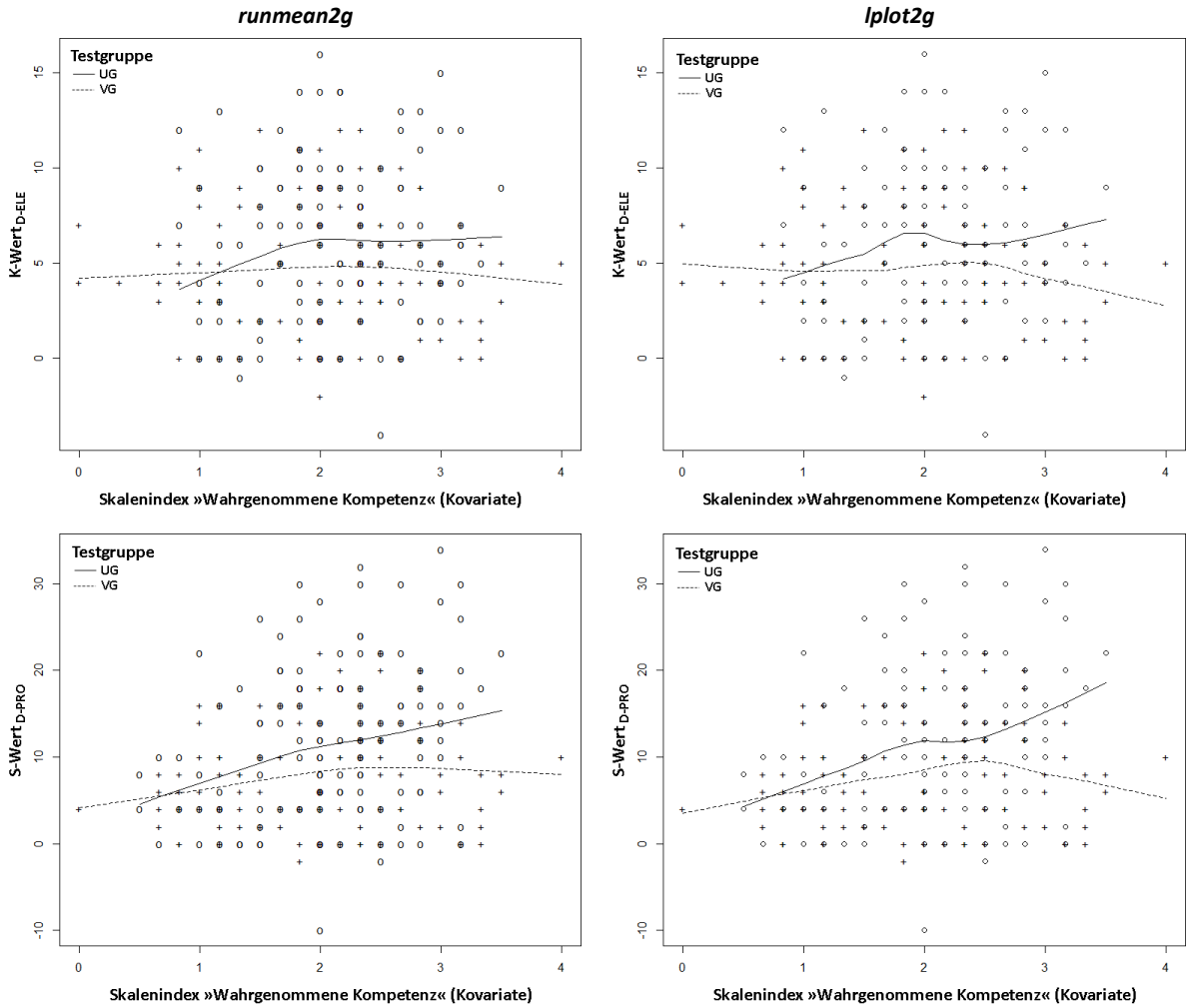


Abbildung 60: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Wahrgenommene Kompetenz«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: *ancova*, *ancovaWMW* und *ancdet* deuten auf keine signifikante M_γ-differenz hin. Die von *ancova* ausgewiesene Signifikanz besteht nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Die Proband/innen mit einem Index-Wert von 3,3 unterscheiden sich nach *ancova* (p = 0,028* nach α-Fehler-Kontrolle) und *ancovaWMW* (p = 0,008**) bei der UG (sehr) signifikant von denen der VG. In diesem Bereich besitzt die UG in 76,4% der Fälle einen höheren S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ als die VG; die M_γ-Differenz beträgt 0,217 [0,095; 0,421] Punkte. Diese Ergebnisse finden keine Bestätigung durch *ancdet*, dessen p-Werte alle nicht signifikant ausfallen.

6.3.3.2 Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung

Kovariate Skalenindex »Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung« (umgepolt)

Gehen die bei der visuellen Auswertung empfundenen Schwierigkeiten nach der Umpolung kovarianzanalytisch in die Betrachtung des K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ (Abbildung 61) ein, zeigt sich, dass unter allen Proband/innen mit einem Index-Wert[147] größer ca. 2,0 (*lplot2g* und *runmean2g*), die der UG einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ aufweisen als die der VG. Die nicht-linearen Regressionslinien divergieren ab einem Wert von ca. 2,0 zunehmend wegen des Anstiegs bei der UG und des Abflachens bei der VG. Beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ weisen die Proband/innen der UG einen höheren Punktwert bereits ab einem Index-Wert von ca. 1,1 (*lplot2g*) bzw. ca. 1,2 – 1,3 (*runmean2g*) auf. Während die Regressionslinie der VG bei dieser Auswertungsgröße vergleichsweise konstant verläuft, steigt die der UG an, sodass auch hier eine zunehmende Divergenz bezüglich der erreichten Punkte ersichtlich wird.

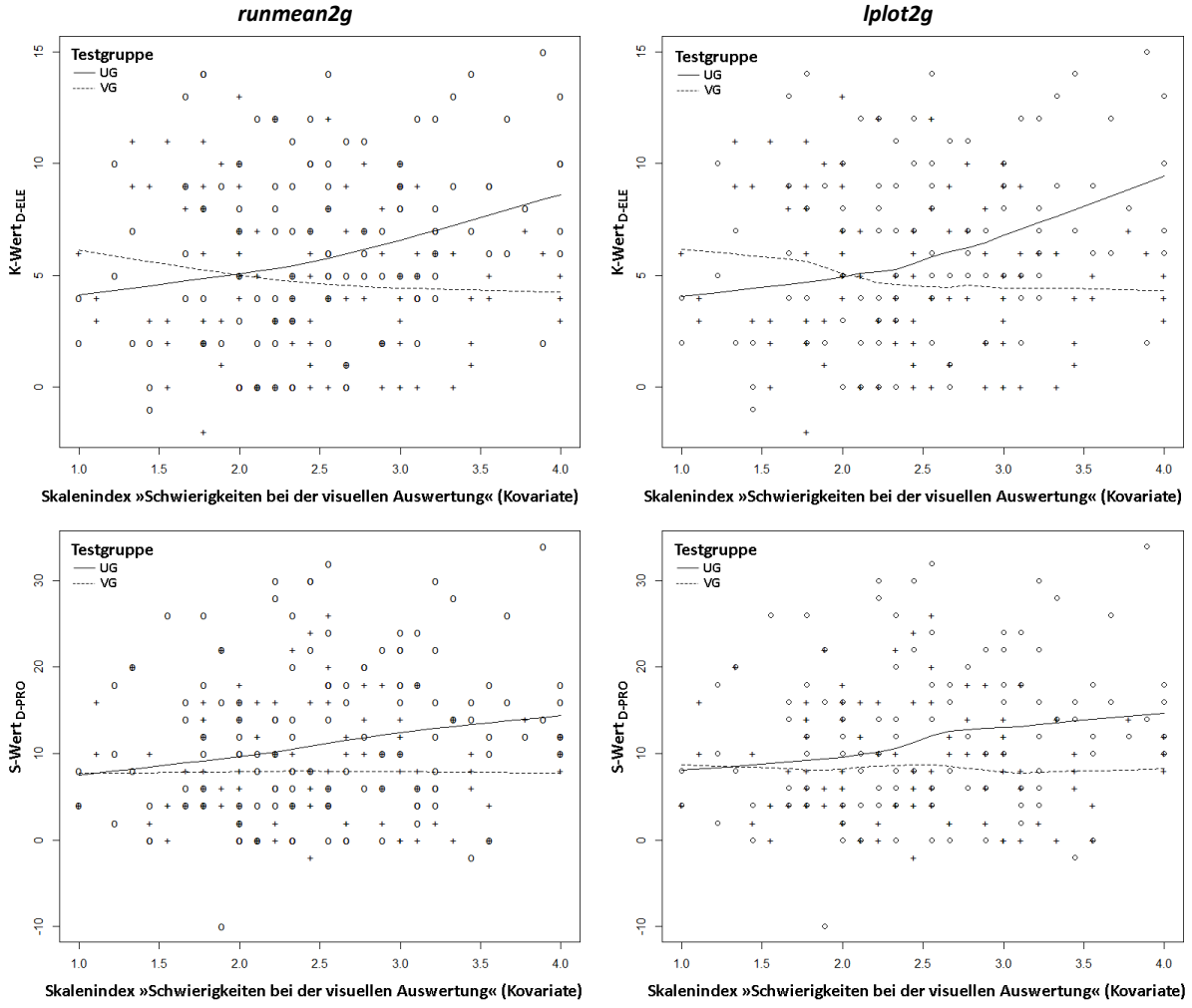


Abbildung 61: Diagramme der Regressionslinien bei der ANCOVA von K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ und Kovariate Skalenindex »Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Die M_{γ}-Differenz ist beim Index-Wert 3,0 nach *ancova* (p = 0,005** nach α-Fehler-Kontrolle) sowie *ancovaWMW* (p = 0,002**) sehr signifikant; bei 3,9 ist sie bei *ancova* sehr signifikant (p = 0,004**) und bei *ancovaWMW* hochsignifikant (p < 0,001***). Bei 3,0 besitzt die UG in 64,2% der

[147] Der Index-Wert beruht auf umgepolten Items, d.h. ein niedriger Wert steht für größere Schwierigkeiten.

Fälle einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$, während die M_γ-Differenz 0,322 [0,229; 0,431] Punkte beträgt. Bei 3,9 ist es in 85,4% der Fälle die UG, die einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ mit einer M_γ-Differenz von 0,123 [0,044; 0,302] Punkten aufweist. Nach *ancdet* ist die Differenz bei den Index-Werten 3,0 sowie von 3,4 – 4,0 sehr bis hochsignifikant.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht eine (sehr) signifikante Differenz bei einem Index-Wert von 3,0 gemäß *ancova* (p = 0,035* nach α-Fehler-Kontrolle) und *ancovaWMW* (p = 0,009**); *ancdet* weist Signifikanz nur für den Index-Wert 3,4 aus. Beim Index-Wert 3,0 ist es in 61,5% der Fälle die UG, die einen höheren Wert hat. Die M_γ-Differenz beträgt 0,351 [0,254; 0,461] Punkte zugunsten der UG.

6.3.3.3 Nützlichkeit der visuellen Auswertung

Faktor »Sich die raumzeitliche Dynamik des Braunkohleabbaus sehr gut vorstellen können«
Die Antwortkategorie »Trifft überhaupt nicht zu« ist mit »Trifft eher nicht zu« zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen können«
Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ (nach α-Fehler-Kontrolle): Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* weisen auf einen signifikanten Haupteffekt hin. Gemäß *bbmcp* haben die Proband/innen beider Gruppen mit der Antwort »Trifft eher zu« im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,042*) 8,876 [1,050; 17,206][148] Punkte mehr erreicht als die, die mit »Teils, teils« geantwortet haben (moderater Effekt: r_e = 0,397).

Faktor »Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen können«
K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht nach α-Fehler-Kontrolle gemäß *bbmcp* ein signifikanter (p = 0,040*) Haupteffekt, wonach Proband/innen beider Gruppen mit der Antwort »Trifft völlig zu« im getrimmten Mittel 5,845 [0,205; 11,485] Punkte mehr erreicht haben als diejenigen mit der Antwort »Teils, teils«; dies entspricht einem moderaten bis großen Effekt (r_e = 0,432).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Sich raum-zeitliche Veränderungen im Bereich Gesellschaft sehr gut vorstellen können«
Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ (nach α-Fehler-Kontrolle): Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

6.3.3.4 Nützlichkeit der CM_{vorw}-Modifikation

Faktor »Wissenslücken in der CM_{vorw} schließen können«
Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Von *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* werden drei Kontraste als signifikante Haupteffekte gekennzeichnet. Proband/innen beider Gruppen, die mit »Trifft völlig zu« geantwortet haben, unterscheiden sich bezüglich ihrer Punkte jeweils von denen der anderen drei Antwortkategorien. Die M_γ-Differenz beträgt sehr signifikant (p = 0,002**) 8,596 [1,894; 15,298][149] Punkte

[148] *bbmcppb*: p = 0,004**, M_γ-Differenz: 8,876 [0,786; 16,196]
[149] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 8,596 [2,601; 15,982]

gegenüber den Proband/innen der Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,560), hochsignifikant (p = 0,001***) 9,050 [3,181; 14,919][150] Punkte im Vergleich zu denen mit der Angabe »Teils, teils« (großer Effekt: r_e = 0,622) und sehr signifikant (p = 0,002**) 7,656 [1,962; 13,350][151] Punkte im Verhältnis zu denen mit der Antwort »Trifft eher zu« (großer Effekt: r_e = 0,522).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Die gleichen Kontraste stellen nach *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* hochsignifikante Haupteffekte dar. Bei dieser Auswertungsgröße zeigen die Proband/innen beider Gruppen mit »Trifft völlig zu« gemäß *bbmcp* jeweils hochsignifikant (alle: p < 0,001***) mehr Punkte als die der anderen Kategorien. Die M_γ-Differenz zur Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« liegt bei 19,889 [9,379; 30,398][152] Punkten (großer Effekt: r_e = 0,691), zur Kategorie »Teils, teils« bei 18,133 [7,096; 29,170][153] Punkten (großer Effekt: r_e = 0,588) und zur Kategorie »Trifft eher zu« bei 16,343 [5,972; 26,715][154] Punkten (großer Effekt: r_e = 0,565).

Faktor »Neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten erstellen können«
Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ (nach α-Fehler-Kontrolle): Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcp* deutet (nach α-Fehler-Kontrolle) auf vier bzw. *bbmcppb* auf drei signifikante Haupteffekte hin. Gemäß *bbmcp* ist die Punktezahl der Proband/innen beider Testgruppen, die mit »Teils, teils« geantwortet haben, gegenüber denen der Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,045*) um 6,249 [1,362; 13,859][155] Punkte höher (moderater Effekt: r_e = 0,292). Proband/innen mit der Antwort »Trifft völlig zu« haben sehr signifikant (p = 0,002**) 17,595 [5,745; 29,595][156] Punkte mehr im Vergleich zu denen, die die Antwortkategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« gewählt haben (großer Effekt: r_e = 0,700). Die Proband/innen mit »Trifft völlig zu« haben ferner signifikant (p = 0,031*) 11,346 [1,077; 23,769][157] Punkte mehr als die mit »Teils, teils« (moderater Effekt: r_e = 0,392) und sie haben im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,012*) 13,489 [1,357; 25,621][158] Punkte mehr gegenüber denjenigen mit »Trifft eher zu« (großer Effekt: r_e = 0,487).

Faktor »CM_{mod} besser gelungen als CM_{vorw}«
Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es bestehen drei signifikante Haupteffekte gemäß *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb*, die sich alle auf Proband/innen beider Gruppen beziehen, die mit »Trifft völlig zu« geantwortet haben. Diese haben nach *bbmcp* im getrimmten Mittel sehr signifikant (p = 0,002**) 6,697 [1,483; 11,910][159] Punkte mehr erreicht als die Proband/innen der Antwortkategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,501). Das Plus an Punkten gegenüber denen mit »Teils, teils« beträgt 6,884 [1,745; 12,022][160] Punkte und ist sehr signifikant (p = 0,002**); es liegt ein moderater Effekt (r_e = 0,451) vor. Gegenüber den Proband/innen mit »Trifft eher zu« konnten sie sehr signifikant (p = 0,002**) 6,870 [1,870; 11,870][161] Punkte mehr erzielen (moderater Effekt: r_e = 0,470).

---

[150] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 9,050 [3,797; 14,786]
[151] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 7,656 [2,347; 13,287]
[152] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 19,889 [8,596; 29,793]
[153] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 18,133 [6,867; 27,883]
[154] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 16,343 [5,354; 25,187]
[155] Dieser Kontrast wird von *bbmcppb* minimal als nicht signifikant ausgewiesen.
[156] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 17,595 [7,237; 27,734]
[157] *bbmcppb*: p = 0,021*, M_γ-Differenz: 11,346 [1,227; 22,670]
[158] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 13,489 [2,808; 24,847]
[159] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 6,697 [1,854; 12,470]
[160] *bbmcppb*: p = 0,002**, M_γ-Differenz: 6,884 [1,683; 12,161]
[161] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 6,870 [1,786; 12,024]

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Gemäß *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* überträgt sich das o.g. Muster der Haupteffekte der Proband/innen mit »Trifft völlig zu«. Diese haben in beiden Gruppen im getrimmten Mittel mehr Punkte erzielt als die der anderen Antwortkategorien. Nach *bbmcp* sind es sehr signifikant (p = 0,006**) 13,856 [1,987; 25,726][162] Punkte mehr im Verhältnis zur Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,525). Die hochsignifikante (p < 0,001***) Abweichung zur Kategorie »Teils, teils« beträgt 16,594 [6,180; 27,005][163] Punkte (großer Effekt: r_e = 0,544). Bei einem Vergleich mit den Proband/innen mit »Trifft eher zu« ist eine sehr signifikante (p = 0,006**) M_γ-Differenz von 12,274 [1,438; 23,110][164] Punkten gegeben (moderater Effekt: r_e = 0,398).

6.3.3.5 Handhabbarkeit und Schwierigkeiten bei der CM$_{vorw}$-Modifikation

Faktor »Einfache CM$_{vorw}$-Modifikation mit CmapTools«

Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* weisen drei signifikante Haupteffekte aus. Diese betreffen alle die Kontraste der Proband/innen beider Gruppen mit der Antwort »Trifft völlig zu« gegenüber denen der anderen drei Antwortkategorien. Die Proband/innen mit »Trifft völlig zu« zeigen nach *bbmcp* eine sehr signifikant (p = 0,002**) positive M_γ-Differenz von 7,854 [2,240; 13,469][165] Punkten gegenüber denen mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,662). Im Vergleich zu den Proband/innen mit der Antwort »Teils, teils« beläuft sich die positive M_γ-Differenz in einer sehr signifikanten Weise (p = 0,003**) auf 5,770 [1,008; 10,531][166] Punkte (moderater bis großer Effekt: r_e = 0,432). Die positive M_γ-Differenz zu denen mit »Trifft eher zu« ist hochsignifikant (p = 0,001***) und beziffert sich auf 5,661 [1,734; 9,587][167] Punkte (großer Effekt: r_e = 0,465).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Die gleichen Kontraste sind nach *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* signifikante Haupteffekte. Gemäß *bbmcp* haben die Proband/innen beider Gruppen mit der Antwort »Trifft völlig zu« im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,016*) 15,452 [1,551; 29,354][168] Punkte mehr erreicht als die mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu«; es liegt ein großer Effekt (r_e = 0,646) vor. Im Vergleich zu denen mit der Antwort »Teils, teils« besteht ein sehr signifikantes (p = 0,007**) Plus in Höhe von 9,911 [2,043; 17,779][169] Punkten (moderater bis großer Effekt: r_e = 0,433). Die Abweichung zu den Proband/innen mit »Trifft eher zu« beläuft sich auf 7,915 [8,499; 15,830][170] Punkte ist signifikant (p = 0,018*); der Effekt ist moderat (r_e = 0,322).

Faktor »Zufriedenheit mit der CM$_{mod}$«

Die Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Nach *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* liegen bei vier Kontrasten signifikante Haupteffekte vor. Die Proband/innen beider Gruppen, die mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« geantwortet haben, weisen im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,017*) 4,329 [0,010; 8,648][171] Punkte weniger auf als die der Kategorie »Trifft eher zu« (moderater Effekt: r_e = 0,405). Die gleichen

[162] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 13,856 [3,220; 25,359]
[163] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 16,592 [6,452; 26,758]
[164] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 12,274 [2,333; 23,512]
[165] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 7,854 [2,979; 12,781]
[166] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 5,770 [1,216; 10,327]
[167] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 5,661 [1,386; 9,312]
[168] *bbmcppb*: p = 0,003**, M_γ-Differenz: 15,452 [2,376; 28,314]
[169] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 9,911 [1,782; 17,763]
[170] *bbmcppb*: p = 0,011*, M_γ-Differenz: 7,915 [0,087; 16,082]
[171] *bbmcppb*: p = 0,005**, M_γ-Differenz: 4,329 [0,284; 8,648]

Proband/innen haben ebenso hochsignifikant (p = 0,001***) 8,583 [2,955; 14,583][172] Punkte weniger als die mit »Trifft völlig zu« (großer Effekt: r_e = 0,722). Die mit »Trifft völlig zu« besitzen wiederum einen sehr signifikant (p = 0,002**) um 6,873 [1,712; 12,035][173] Punkte höheren getrimmten Mittelwert als die der Kategorie »Teils, teils« (großer Effekt: r_e = 0,535). Die Punktezahl der Proband/innen mit »Trifft völlig zu« ist ferner im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,036*) um 4,255 [-0,772; 9,281][174] Punkte höher als bei denen mit der Antwort »Trifft eher zu« (moderater Effekt: r_e = 0,339).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Fast die gleichen Kontraste werden von *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* als signifikante Haupteffekte ausgegeben. Proband/innen beider Gruppen mit »Trifft eher zu« weisen im getrimmten Mittel hochsignifikant (p = 0,001***) 11,679 [3,632; 19,726][175] Punkte mehr auf als die mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,531). Sie haben des Weiteren signifikant (p = 0,035*) 6,839 [1,104; 14,783][176] Punkte mehr erzielt als die mit »Teils, teils« (moderater Effekt: r_e = 0,281). Die Proband/innen mit der Antwort »Trifft völlig zu« zeigen einen um 15,144 [7,223; 23,066][177] Punkte hochsignifikant (p < 0,001***) höheren M_γ als die der Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,772). Im Verhältnis zu den Proband/innen mit »Teils, teils« haben die mit »Trifft völlig zu« eine sehr signifikant (p = 0,002**) positive Abweichung in Höhe von 10,305 [2,457; 18,152][178] Punkten (großer Effekt: r_e = 0,521).

Faktor »Schwierigkeiten bei der CM$_{vorw}$-Modifikation« (umgepolt)
Die umgepolten Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: *bbmcppb* deutet auf einen sehr signifikanten (p = 0,003**) Haupteffekt hin, wonach Proband/innen beider Gruppen, die die umgepolte Antwortkategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« gewählt haben, im getrimmten Mittel 6,598 [1,084; 11,820] Punkte weniger erzielt haben als die der umgepolten Antwortkategorie »Trifft völlig zu«[179] (großer Effekt: r_e = 0,563).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcp* (α-Fehler-Kontrolle) wie *bbmcppb* zeigen drei signifikante Haupteffekte. Nach *bbmcp* konnten Proband/innen beider Gruppen mit »Trifft eher zu« im getrimmten Mittel sehr signifikant (p = 0,004**) 13,327 [3,027; 23,626][180] Punkte mehr hinzugewinnen als die mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,569). Proband/innen, die mit »Trifft völlig zu« geantwortet haben, erzielten sehr signifikant (p = 0,003**) 15,284 [4,674; 25,895][181] Punkte mehr als die der Kategorie »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (großer Effekt: r_e = 0,603). Die Proband/innen mit »Trifft völlig zu« haben des Weiteren eine signifikant (p = 0,024*) größere M_γ-Differenz von 8,510 [0,404; 17,425][182] Punkten gegenüber denen mit »Teils, teils« (moderater Effekt: r_e = 0,374).

Faktor »Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Systeminformationen als Konzepte« (umgepolt)
Die umgepolten Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengelegt.

---

[172] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 8,583 [3,242; 14,153]
[173] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 6,873 [1,858; 12,155]
[174] *bbmcppb*: p = 0,024*, M_γ-Differenz: 4,255 [-0,711; 9,595]
[175] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 11,679 [4,188; 20,640]
[176] *bbmcppb*: p = 0,021*, M_γ-Differenz: 6,839 [0,779; 14,968]
[177] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 15,144 [7,450; 23,806]
[178] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 10,305 [2,492; 18,4667]
[179] Dieser Kontrast ist bei *bbmcp* nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr signifikant.
[180] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 13,327 [3,876; 23,635]
[181] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 15,284 [6,132; 26,146]
[182] *bbmcppb*: p = 0,004**, M_γ-Differenz: 8,510 [0,754; 16,872]

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Nach *bbmcp* (α-Fehler-Kontrolle) wie *bbmcppb* ist ein signifikanter Haupteffekt gegeben. Gemäß *bbmcp* konnten die Proband/innen beider Gruppen mit der Antwort »Trifft eher zu« einen signifikant (p = 0,019**) um 4,522 [0,533; 8,511][183] Punkte höheren M_γ erreichen als die der Kategorie »Teils, teils« (moderater Effekt: r_e = 0,376).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcp* (α-Fehler-Kontrolle) und *bbmcppb* weisen den gleichen Haupteffekt als signifikant aus. Gemäß *bbmcp* konnten die Proband/innen beider Gruppen mit »Trifft eher zu« im getrimmten Mittel in einer signifikanten Weise (p = 0,034*) 10,467 [0,554; 20,379][184] Punkte mehr erreichen als Proband/innen, die die Kategorie »Teils, teils« gewählt haben (moderater bis großer Effekt: r_e = 0,416).

Faktor »Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten anhand von Systeminformationen« (umgepolt)
Die umgepolten Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) weist zwei Kontraste bzw. *bbmcppb* einen Kontrast als signifikanten Haupteffekt aus. Nach *bbmcp* konnten die Proband/innen beider Gruppen mit »Trifft eher zu« im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,043*) 4,280 [-0,332; 8,893][185] Punkte mehr erzielen als die Proband/innen mit »Trifft eher nicht bis überhaupt nicht zu« (moderater Effekt: r_e = 0,344). Auch gegenüber den Proband/innen mit »Teils, teils« konnten sie hochsignifikant (p = 0,001***) 5,626 [1,843; 9,409][186] Punkte mehr erreichen (großer Effekt: r_e = 0,452).

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Nach α-Fehler-Kontrolle besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Schwierigkeiten bei der Erstellung passender Verbindungswörter anhand von Systeminformationen« (umgepolt)
Die umgepolten Antwortkategorien »Trifft überhaupt nicht zu« und »Trifft eher nicht zu« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

6.3.3.6 Interessantheit der CM$_{vorw}$-Modifikation

Faktor »Freude an der CM$_{vorw}$-Modifikation«
K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Absorbiertheit durch Faszination an der CM$_{vorw}$-Modifikation«
Die Antwortkategorien »Trifft völlig zu« und »Trifft eher zu« sind zusammengefasst.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Langeweile bei der CM$_{vorw}$-Modifikation« (umgepolt)
Die Antwortkategorien »Trifft völlig zu« und »Trifft eher zu« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: *bbmcppb* weist einen sehr signifikanten (p = 0,007**) Haupteffekt aus, nach dem die Proband/innen beider Gruppen, die mit »Trifft eher zu bis trifft völlig zu« geantwortet haben, im getrimmten Mittel 5,343 [0,222; 12,093][187] Punkte mehr erreichen konnten als die Proband/innen mit der Antwort »Teils, teils« (moderater Effekt: r_e = 0,392).

---

[183] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 4,522 [0,904; 8,406]
[184] *bbmcppb*: p = 0,011**, M_γ-Differenz: 10,467 [-0,033; 19,000]
[185] Dieser Kontrast ist bei *bbmcppb* minimal nicht signifikant.
[186] *bbmcppb*: p < 0,001***, M_γ-Differenz: 5,626 [2,143; 9,686]
[187] *bbmcppb*: p = 0,001***, M_γ-Differenz: 12,845 [4,170; 20,265]

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

Faktor »Große Mühe bei der CM$_{vorw}$-Modifikation«

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: *bbmcppb* zeigt eine sehr signifikante (p = 0,005**) M$_\gamma$-Differenz zwischen den Proband/innen mit »Trifft eher zu« und denen mit »Teils, teils«. Erstere haben 7,710 [0,295; 15,025] Punkte mehr hinzugewonnen als letztere (moderater Effekt: r_e = 0,334).

6.3.3.7 Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM$_{vorw}$-Modifikation

Die Antwortkategorien »10 – 15 Min.« und »> 15 Min.« sind zusammengelegt.

K-Wert$_{D\text{-}ELE}$: Es besteht kein signifikanter Haupt-/Interaktionseffekt.

S-Wert$_{D\text{-}PRO}$: Es liegen nach *bbmcp* (nach α-Fehler-Kontrolle) bzw. *bbmcppb* fünf bzw. sechs signifikante Haupteffekte vor. Proband/innen beider Gruppen, die die Antwortkategorie »Die Zeit war zu lang« angegeben haben, zeigen nach *bbmcp* einen sehr signifikant (p = 0,004**) um 8,491 [1,467; 15,514][188] Punkte niedrigeren M$_\gamma$ als die mit der Antwort »Die Zeit hat genau ausgereicht« (moderater Effekt: r_e = 0,393). Auch gegenüber denen mit der Antwort »Noch < 5 Min. mehr« haben sie einen signifikant (p = 0,041*) um 12,082 [2,907; 27,071][189] Punkte geringeren M$_\gamma$; es liegt hier ein großer Effekt vor (r_e = 0,463)[190]. Proband/innen mit der Antwort »Die Zeit hat genau ausgereicht« konnten hochsignifikant (p < 0,001***) 12,083 [5,150; 19,017][191] Punkte mehr hinzugewinnen als diejenigen mit der Antwort »Noch 10 bis > 15 Min. mehr« (großer Effekt: r_e = 0,567). In einer signifikanten Weise (p = 0,013**) zeigen die Proband/innen mit »Noch < 5 Min. mehr« 15,674 [0,779; 30,570][192] Punkte mehr als die der Kategorie »Noch 10 bis > 15 Min. mehr« (großer Effekt: r_e = 0,608). Auf eine signifikante Weise (p = 0,022*) 14,500 [-1,025; 30,025][193] Punkte mehr erzielt haben die Proband/innen mit »Noch 5 – 10 Min. mehr« gegenüber denjenigen mit »Noch 10 bis > 15 Min. mehr« (großer Effekt: r_e = 0,566).

---

[188] *bbmcppb*: p = 0,001***, M$_\gamma$-Differenz: -8,491 [-15,992; -2,203]

[189] *bbmcppb*: p = 0,003**, M$_\gamma$-Differenz: -12,082 [-24,857; -0,455]

[190] Nach *bbmcppb* weisen diese Proband/innen ferner im getrimmten Mittel signifikant (p = 0,024*) 10,907 [-2,435; 23,981] Punkte weniger auf als die Proband/innen der Kategorie »Noch 5 – 10 Min, mehr« (moderater Effekt: r_e = 0,414), Dieser Kontrast ist bei *bbmcp* nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr signifikant.

[191] *bbmcppb*: p < 0,001***, M$_\gamma$-Differenz: 12,083 [2,689; 21,220]

[192] *bbmcppb*: p < 0,001***, M$_\gamma$-Differenz 15,675 [2,825; 30,421]

[193] *bbmcppb*: p = 0,003**, M$_\gamma$-Differenz: 14,500 [0,889; 28,167]

7 Diskussion der Ergebnisse

Die in Kapitel 6 vorgestellten robusten Auswertungsergebnisse sind aus einer Untersuchung hervorgegangen, deren Zielsetzung darin besteht, bei grundlegenden methodischen Kenntnissen die absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung von digitalen Luft- und Satellitenbildern im Hinblick auf die untersuchten Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE explorativ zu erforschen (Forschungsfrage 1), mit der Wirksamkeit der visuellen Auswertung eines äquivalenten Mediums wie digitalen topographischen Karten zu vergleichen (Forschungsfrage 2) und im Falle signifikanter Differenzen auf potenzielle Einflüsse durch personale Variablen hin zu untersuchen (Forschungsfrage 3). Auch wenn für die drei Forschungsfragen ein einziges Forschungsdesign verwendet worden ist, werden die Ergebnisse nacheinander jeder Forschungsfrage einzeln zugeordnet. Im Mittelpunkt von Kapitel 7.1 steht die Beantwortung der H_1 und der Forschungsfrage 1 zur absoluten Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbildauswertung. Es folgt in Kapitel 7.2 die Beantwortung der H_2 und der Forschungsfrage 2 bezüglich der relativen Wirksamkeit der Luft- und Satellitenbilder gegenüber den topographischen Karten. Kapitel 7.3 geht im Kontext von Forschungsfrage 3 auf die aufgedeckten Effekte durch erhobene KVs ein und diskutiert diese. Zum Schluss erfolgt in Kapitel 7.4 eine kritische Würdigung der in dieser Arbeit gewählten methodischen Vorgehensweise und der damit verbundenen Implikationen hinsichtlich der Aussagekraft der gewonnenen Erkenntnisse.

7.1 Diskussion der CM-Ergebnisse und Beantwortung von H_1 und Forschungsfrage 1

Als forschungsmethodischer Ansatz zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 wird auf der Grundlage der Veränderungen an der individuellen Systemrepräsentation von t_0 zu t_1 (*D*) bei der UG auf das Ausmaß der dahinter stehenden Anwendung der einzelnen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE im Zuge der visuellen Auswertung der Luft- und Satellitenbilder geschlossen. Ausgehend von den in Kapitel 3.3 skizzierten kognitiven Prozessen, in deren Rahmen systemisches Denken auf der Basis visualisierter Rauminformationen theoretisch ermöglicht wird, ist vor dem Hintergrund der aus der Forschungsliteratur abgeleiteten lernförderlichen Eigenschaften und Faktoren von Luft- und Satellitenbildern davon ausgegangen worden, dass bei grundlegenden methodischen Kenntnissen im getrimmten Mittel eine positive Wirkung ihrer visuellen Auswertung im Sinne einer Verbesserung der einzelnen Fähigkeiten zu erwarten ist. Diese Erwartung ist in der gerichteten, jedoch unspezifischen Forschungshypothese H_1 mit ihren fünf Teilhypothesen ($H_{1.1}$ bis $H_{1.5}$) formuliert worden, die in die zweiseitig zu überprüfenden statistischen Hypothesen in Kapitel 4 überführt worden sind.

Wie die robusten Kennwerte in Kapitel 6.1.2.1 und insbesondere die Ergebnisse der robusten Hypothesentests in Kapitel 6.1.2.3 in Bezug auf die mit den Luft- und Satellitenbildern arbeitende UG zeigen, kann die H_1, die signifikant höhere M_γ seitens aller Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeiten zu t_1 postuliert, nur teilweise verifiziert werden. Grund hierfür ist die heterogene Entwicklung der Auswertungsgrößen im Kontext der einzelnen Teilhypothesen:

- **Die $H_{1.1}$, die einen signifikant höheren M_γ der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Systemgrenze zu t_1 postuliert, ist zu falsifizieren.**
  Empirische Begründung: Mit einer $eM_\gamma D$ von -1,514 bis -1,870 bei der Auswertungsgröße CM-SRG, die als Indikator für diese Fähigkeit fungiert, liegt eine Veränderung von -2 – -3 Prozentpunkten vor, die aus inhaltlicher Sicht einer sehr schwachen Verschlechterung (negativer Effekt) entspricht. Die Verschlechterung ist nicht signifikant und die $H_{1.1}$ insgesamt zu falsifizieren. Es ist zu bedenken, dass aufgrund der tatsächlichen Werteverteilung beim CM-SRG sehr viele zusätzliche Proband/innen (484 – 888) benötigt werden, um eine reliablere Aussage treffen zu können.

- **Die $H_{1.2}$, die einen signifikant höheren M_γ der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Systemelemente zu t_1 postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Indikator für diese Fähigkeit ist der K-$Wert_{ELE}$, der bei allen drei γ eine $eM_\gamma D$ von 6,903 – 6,961 Punkten und damit eine Verbesserung um 60% aufweist; es liegt hier ein (sehr) starker Effekt vor. Der Anstieg des M_γ ist durchgehend hochsignifikant. Die ausreichende Anzahl an Proband/innen lässt die Verifizierung dieser Hypothese reliabel erscheinen.

- **Die $H_{1.3}$, die einen signifikant höheren M_γ der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Beziehungen zwischen den Systemelementen zu t_1 postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Der S-$Wert_{BEZ}$ fungiert als Indikator für diese Fähigkeit. Mit einer $eM_\gamma D$ von 5,429 – 5,461 Punkten bei allen drei γ weist er eine Verbesserung von 39% auf(moderater bis starker Effekt). Die M_γ-Differenz von t_0 zu t_1 ist durchgehend hochsignifikant. Angesichts der ausreichenden Anzahl an Proband/innen erscheint die Verifizierung dieser Hypothese reliabel.

- **Die $H_{1.4}$, die signifikant höhere M_γ der betreffenden Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeit zur Identifikation Systemprozesse zu t_1 postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Ermittelt wird diese Fähigkeit über den K-$Wert_{PRO}$ und den S-$Wert_{PRO}$, die beide bei allen drei γ positive Entwicklungen zeigen. Die $eM_\gamma D$ beträgt 1,610 – 1,713 Punkte beim K-$Wert_{PRO}$ (Verbesserung um 63 – 72% bzw. moderater Effekt) und 11,887 – 12,026 Punkte beim S-$Wert_{PRO}$ (Verbesserung um 100% bzw. starker bis sehr starker Effekt). Da sich die M_γ-Differenz von t_0 zu t_1 bei beiden Auswertungsgrößen als hochsignifikant erweist, kann die $H_{1.4}$ wegen der bei beiden ausreichenden Anzahl an Proband/innen reliabel verifiziert werden.

- **Die $H_{1.5}$, die signifikant höhere M_γ der betreffenden Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeit zur Identifikation der inneren Systemstruktur zu t_1 postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: CM-TS, CM-GU, CM-SP und CM-VNI wirken als Indikatoren für diese Fähigkeit. Beim CM-TS beträgt die $eM_\gamma D$ -0,035 (γ = 0,05), -0,010 (γ = 0,10) bzw. 0,000 (γ = 0,20). Ausgehend von der Berechnungsweise der $eM_\gamma D$ deuten die beiden negativen Werte auf eine geringere Anzahl an Teilstrukturen in der CM_{mod} hin, d.h. es liegt eine Verbesserung um ca. 3% vor (kleiner Effekt). Bei γ = 0,20 ist die $eM_\gamma D$ = 0,000, da M_γ bereits bei der minimal möglichen Anzahl an Teilstrukturen liegt. Vor diesem Hintergrund erscheint die fehlende Signifikanz vernachlässigbar. Beim CM-GU liegt eine hochsignifikante M_γ-Differenz von t_0 zu t_1 vor, die 9,635 – 9,832 ($eM_\gamma D$) beträgt. Dies entspricht einer Verbesserung um 62% und deutet auf einen (sehr) starken Effekt hin, der wegen der ausreichenden Anzahl an Proband/innen reliabel erscheint. Auch beim CM-SP ist eine im getrimmten Mittel hochsignifikante Verbesserung um 48,130 – 50,533 Strukturpunkte eingetreten (Verbesserung um 112 – 136%). Die ausreichende Probandenzahl lässt den damit verbundenen starken Effekt gleichfalls reliabel erscheinen. Mit einer $eM_\gamma D$ von 0,080 – 0,083 Einheiten (Verbesserung um 4%) ist beim CM-VNI ein schwacher, jedoch durchgehend signifikanter

Effekt gegeben, dessen Reliabilität angesichts der wenigen zusätzlich notwendigen Proband/innen (12 – 38) größtenteils reliabel erscheint. Insgesamt begründen die empirischen Befunde zum CM-GU, CM-SP und CM-VNI die Verifizierung der $H_{1.5}$.

Zusammenfassend betrachtet ist zu erkennen, dass die Proband/innen der UG im Zuge der Intervention im Bereich der Systemelemente und Beziehungen zwischen ihnen sowie im Bereich der Systemprozesse und der inneren Systemstruktur Verbesserungen aufweisen (alle mit hoher Reliabilität). Die auf das getrimmte Gruppenmittel bezogenen Schlussfolgerungen lassen sich beim K-$Wert_{ELE}$, K-$Wert_{PRO}$, S-$Wert_{BEZ}$, S-$WERT_{PRO}$, CM-GU und CM-SP uneingeschränkt auf alle Dezile und damit auf die meisten Proband/innen der UG ausweiten; lediglich im 10%-Dezil können u.U. Proband/innen sein, die eine Verschlechterung von t_0 zu t_1 aufweisen. Geringfügige Verbesserungen zeigen sich in allen Dezilen des CM-VNI sowie in wenigen Dezilen des CM-SRG und CM-TS. Der CM-KPG weist infolge der Verbesserungen beim K-$Wert_{ELE}$, K-$Wert_{PRO}$, S-$Wert_{BEZ}$ und S-$WERT_{PRO}$ nicht nur in allen Dezilen, sondern auch im getrimmten Gruppenmittel eine hochsignifikante Zunahme (um 9,039 – 9,139 Prozentpunkte) auf, weshalb es den meisten Proband/innen der UG gelungen ist, ihre Systemrepräsentation stärker als zuvor mit dem Referenznetz der Expert/innen in eine sinngemäße Übereinstimmung zu bringen (Verbesserung um 61% bzw. starker Effekt). Den Proband/innen ist einzig keine Verbesserung im Bereich der Systemgrenze gelungen; hier zeigen das getrimmte Gruppenmittel wie auch die Mehrheit der Dezile (in zwei Dezilen sehr bzw. hochsignifikant) sogar Verschlechterungen.

Auch wenn nicht alle Teilhypothesen verifiziert werden können, legen die empirischen Ergebnisse aufgrund der mitunter erheblichen Verbesserungen (moderate bis starke Effekte) bei der Mehrheit der Auswertungsgrößen als Indikatoren für die einzelnen Fähigkeiten für sich genommen dennoch mehrheitlich eine durchaus hohe absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung der eingesetzten digitalen Luft- und Satellitenbilder nahe. Wie der Vergleich der CM_{vorw} mit der CM_{mod} ergeben hat, konnten die meisten Proband/innen der UG in der Intervention ihr repräsentiertes Systemwissen quantitativ wie qualitativ inhaltlich-strukturell verbessern und sich dem unabhängigen Referenznetz dabei sinngemäß annähern. Vor diesem Hintergrund kann mit Blick auf die Forschungsfrage 1 festgehalten werden, dass die visuelle Auswertung bei grundlegenden methodischen Kenntnissen über Luft- und Satellitenbilder und die Informationsgewinnung aus ihnen durchaus bei einer systemischen Raumerschließung die Anwendung der in dieser Arbeit untersuchten Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE ermöglicht bzw. fördert.

7.2 Diskussion der CM-Ergebnisse und Beantwortung von H_2 und Forschungsfrage 2

Im Rahmen einer ausführlichen Gegenüberstellung von Luft- und Satellitenbildern auf der einen Seite und topographischen Karten auf der anderen Seite sind der Entstehungshintergrund, die Eigenschaften, der Inhalt, die Darstellungsweise, die kognitiven Prozesse bei der visuellen Auswertung sowie die Wirkung des jeweiligen Mediums aus fachdidaktischer, bildwissenschaftlicher und kognitionspsychologischer Sicht miteinander verglichen und auf Gemeinsamkeiten/Unterschiede hin analysiert worden. Wie sich dabei herausgestellt hat, lassen sich jedem Medium spezifische Vor- und Nachteile bzw. Stärken und Schwächen zuschreiben, die sich u.U. gegenseitig aufheben (vgl. Kapitel 3.3.2). Angesichts dessen ist unter der Annahme grundlegender methodischer Kenntnisse davon ausgegangen worden, dass mit ihnen gleich gute Leistungen im Bereich der ausgewiesenen Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE erbracht werden können. Forschungsfrage 2 ist deshalb allgemein formuliert und in eine unspezifische, ungerichtete Forschungshypothese (H_2) mit fünf Teilhypothesen ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$)

überführt worden. Die daraus in Kapitel 4 aufgestellte statistische Nichtunterschiedshypothese mit ihren fünf Teilhypothesen ist über robuste Hypothesentests zweiseitig uni-/multivariat auf der Grundlage von *D* überprüft worden. Wegen des in Anlehnung an Wilcox (2017a, 2017b, 2017c) verfolgten multiperspektivischen Ansatzes der Datenauswertung ist über den direkten Vergleich der Entwicklung der beiden Testgruppen mittels *D* hinaus des Weiteren ein Gruppenvergleich zu t_0 und zu t_1 sowie die Entwicklung der VG analysiert worden; die Analyse letzterer ist erfolgt, weil im Zuge der H_2 parallel zur UG implizit von einer signifikanten Verbesserung der Fähigkeiten bei der VG ausgegangen wird.

Gegebenheiten zu t_0 (CM_{vorw})

Die vorwissensbasiert konstruierte CM_{vorw} zeigt – z.T. nach α-Fehler-Kontrolle – bei den Auswertungsgrößen keine signifikanten M_γ-Differenzen zwischen den beiden Testgruppen bei allen drei γ. Abbildung 62 fasst die robusten Testergebnisse des univariaten Gruppenvergleichs sowie die des Dezilvergleichs aus Kapitel 6.1.2.2 für die einzelnen Auswertungsgrößen zusammen[194].

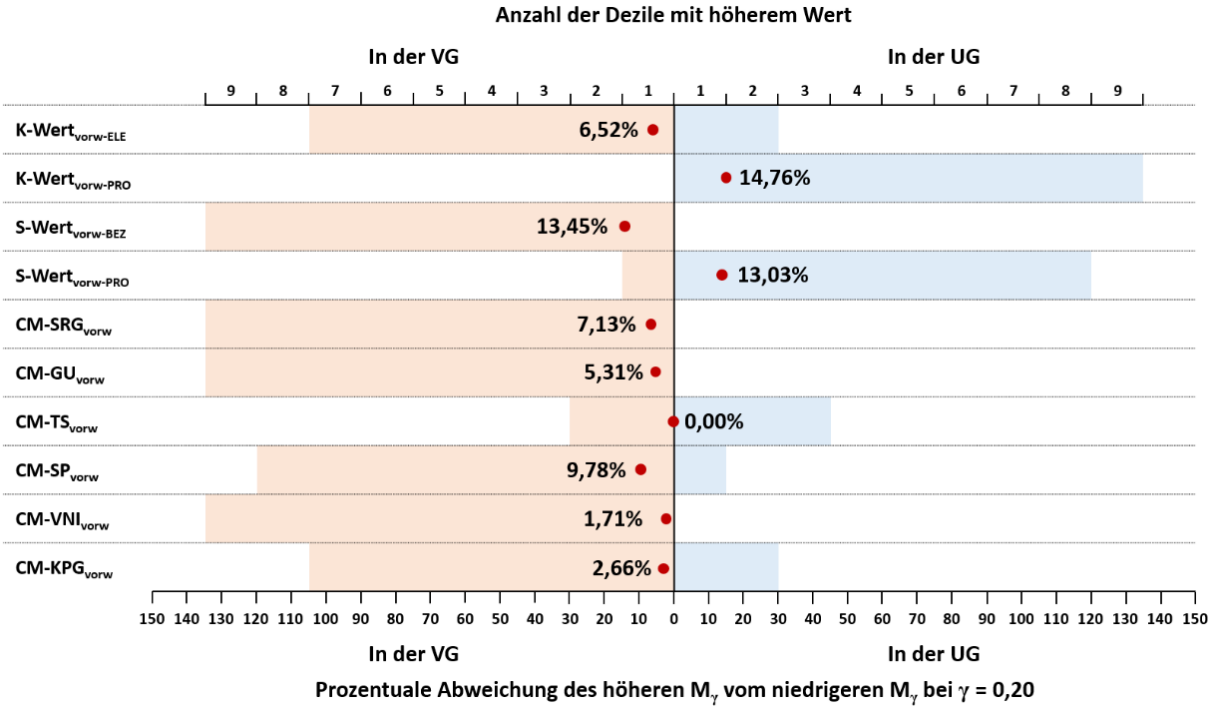


Abbildung 62: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei der CM_{vorw}

Wie die Ergebnisse der robusten Hypothesentests zeigen, weist die VG bei der Mehrheit der Auswertungsgrößen (K-$Wert_{vorw\text{-}ELE}$, S-$Wert_{vorw\text{-}BEZ}$, $CM\text{-}SRG_{vorw}$, $CM\text{-}GU_{vorw}$, $CM\text{-}SP_{vorw}$, $CM\text{-}VNI_{vorw}$ und $CM\text{-}KPG_{vorw}$) einen i.d.R. geringfügig höheren M_γ auf als die UG (siehe prozentuales Verhältnis in Abbildung 62). Letztere besitzt den höheren M_γ im Bereich der Systemprozesse (K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$ und S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$). Dieser Erkenntnis liegt eine äußerst geringe Konfidenz (weite 95%-KIs) im Bereich des $CM\text{-}SRG_{vorw}$ und v.a. des $CM\text{-}SP_{vorw}$ zugrunde, die auf eine zu geringe Gruppengröße zurückzuführen ist. Auch in Bezug auf den S-$Wert_{vorw\text{-}BEZ}$, S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$, $CM\text{-}KPG_{vorw}$ und $CM\text{-}GU_{vorw}$ ist die Konfidenz geringer, während sie für den K-$Wert_{vorw\text{-}ELE}$, K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$, $CM\text{-}TS_{vorw}$ und $CM\text{-}VNI_{vorw}$ hoch ist. Die im getrimmten Gruppenmittel relative quantitative bzw. qualitative Ähnlichkeit des Systemwissens wird vom multivariaten Gruppenvergleich auf der Ebene aller AVs (ohne den $CM\text{-}TS_{vorw}$ und $CM\text{-}KPG_{vorw}$) bestätigt. Die

[194] Bezüglich der dargestellten Dezile des $CM\text{-}TS_{vorw}$ ist darauf hinzuweisen, dass diese inhaltlich umgekehrt zu interpretieren sind: Eine höhere Ausprägung in einem Dezil steht für eine vergleichsweise größere Anzahl an Teilstrukturen. Dieser Zusammenhang gilt gleichfalls im Rahmen der nachfolgenden Abbildung 63 und Abbildung 64.

auf die M_γ-Differenz bezogenen Erkenntnisse lassen sich im univariaten Fall auf die Verhältnisse in allen Bereichen der Werteverteilung der beiden Gruppen ausweiten: Die untersuchten Dezile deuten, abgesehen vom obersten des CM-TS_{vorw}, darauf hin, dass sich die Proband/innen beider Gruppen zu t_0 in ihrer Gesamtheit nicht signifikant voneinander unterschieden haben, wobei – in Übereinstimmung zur M_γ-Differenz – die Dezile bei den sieben o.g. Auswertungsgrößen zuzüglich des CM-TS_{vorw} mehrheitlich oder vollständig zugunsten der VG ausfallen. Einzig beim K-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$ und S-$Wert_{vorw\text{-}PRO}$ haben die Proband/innen der UG in (fast) allen Dezilen höhere Werte. Insgesamt deuten die Testergebnisse an, dass es den meisten Proband/innen der VG, wenn auch in einem nicht signifikanten Maße, zu t_0 geringfügig besser gelungen ist, die Systemgrenze zu identifizieren. Die innere Systemstruktur ist bei der VG im getrimmten Mittel quantitativ (CM-GU_{vorw}) wie qualitativ (CM-SP_{vorw} und CM-VNI_{vorw}) besser, u.a. wegen der höheren Punktwerte im Bereich der Systemelemente und der Beziehungen zwischen ihnen. In diesem Zusammenhang ist die sinngemäße Übereinstimmung des repräsentierten Systemwissens mit dem Referenznetz der Expert/innen im getrimmten Mittel wie auch in fast allen Dezilen auf Seiten der VG größer. Lediglich im Bereich der Systemprozesse zeigen die Proband/innen der UG sowohl im M_γ als auch in (fast) allen Dezilen bessere Leistungen. Die Ähnlichkeit des repräsentierten Systemwissens wird durch die multivariaten Hypothesentests auf der Ebene aller AVs (ohne CM-TS_D und CM-KPG_D) bestätigt. Obschon UG und VG im getrimmten Mittel ein quantitativ wie qualitativ inhaltlich-strukturell weitestgehend vergleichbares Systemwissen repräsentiert haben, fällt das direkte Verhältnis zugunsten der VG aus: diese hat bei sieben von zehn Auswertungsgrößen den höheren M_γ sowie die Mehrheit der zu ihren Gunsten ausgeprägten Dezile. Insgesamt sind die von beiden Testgruppen vorwissensbasiert gezeigten Leistungen vor dem Hintergrund der völlig offenen Concept-Mapping-Variante durchaus beachtlich.

Entwicklung der VG von zu t_0 zu t_1

Parallel zu der UG ist es der VG in der Intervention im getrimmten Mittel wie auch im überwiegenden Teil der Werteverteilung (Dezile) gelungen, ihr Systemwissen quantitativ wie qualitativ inhaltlich-strukturell zu verbessern (vgl. Kapitel 6.1.2.4). Die relativen (prozentualen) M_γ-Veränderungen von t_0 zu t_1 bei den einzelnen Auswertungsgrößen sind in Tabelle 86 denen der UG gegenübergestellt, wobei Wertebereiche mit den verschiedenen γ zusammenhängen und Grün eine Verbesserung bzw. Rot eine Verschlechterung andeutet.

Tabelle 86: Prozentuale Veränderungen der Auswertungsgrößen von t_0 zu t_1 in den Testgruppen

	K-$Wert_{ELE}$	K-$Wert_{PRO}$	S-$Wert_{BEZ}$	S-$Wert_{PRO}$	CM-SRG	CM-GU	CM-TS	CM-SP	CM-VNI	CM-KPG
UG	60%***	63 – 72%***	39%***	100%***	-2 – -3%	62%***	0 – -3%	112 – 136%***	4%*	61%***
VG	70%***	66 – 81%***	35%***	50%***	-3 – -4%*	50%***	0	84 – 105%***	6%**	30%***

Wie die UG zeigt die VG bei allen drei γ bis zu hochsignifikante Verbesserungen des M_γ; einzig beim CM-SRG liegt eine signifikante Verschlechterung vor. Da sich der CM-TS (wie bei der UG) bereits zu t_0 weitestgehend an der unteren Grenze befunden hat, ist hier kaum eine Verbesserung möglich gewesen. Die Reliabilität der Testergebnisse ist hoch und lediglich in Bezug auf den CM-SRG leicht vermindert; zum CM-TS sind keine Aussagen möglich. Im Bereich von K-$Wert_{ELE}$, S-$Wert_{BEZ}$, S-$Wert_{PRO}$, CM-GU, CM-SP und CM-KPG besteht jeweils ein großer und beim K-$Wert_{PRO}$ ein moderater Effekt, während der Effekt beim CM-VNI und CM-SRG schwach ist. Die auf die M_γ-Differenz bezogenen Ergebnisse lassen sich auf die Dezile fast aller Auswertungsgrößen übertragen, in denen durchweg bis zu hochsignifikante Verbesserungen vorliegen. Folglich ist es den meisten Proband/innen der VG in der Intervention gelungen, ihre Leistungen im Bereich der Systemelemente, der Beziehungen zwischen ihnen

und der Systemprozesse zu verbessern. Da CM-GU und CM-SP erheblich und der CM-VNI (hochsignifikante Verbesserungen nur in einem Teil der Dezile) leicht angestiegen sind, ist im Bereich der Identifikation der inneren Systemstruktur ebenfalls eine Verbesserung zu erkennen. Die Identifikation der Systemgrenze hat sich demgegenüber bei den meisten Proband/innen verschlechtert, bei denjenigen in zwei Dezilen des CM-SRG sogar sehr signifikant. Die insgesamt aufgetretenen Verbesserungen gehen einher mit einer Zunahme der sinngemäßen Übereinstimmung mit dem Referenznetz. Insgesamt lassen die statistischen Ergebnisse mitunter erhebliche Verbesserungen (große Effekte) bei der Mehrheit der Auswertungsgrößen erkennen, die eine durchaus große absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung der topographischen Karten nahelegen.

Relative Entwicklung der UG zur VG

Die Überprüfung der H_2 ($H_{2.1}$ bis $H_{2.5}$), d.h. der relativen Entwicklung der UG zur VG von t_0 zu t_1, ist über die robusten Hypothesentests in Kapitel 6.1.2.5 auf der Basis von *D* erfolgt. Eine Zusammenfassung der Testergebnisse zusammen mit denen des Dezilvergleichs im Bereich der einzelnen Auswertungsgrößen gibt Abbildung 63.

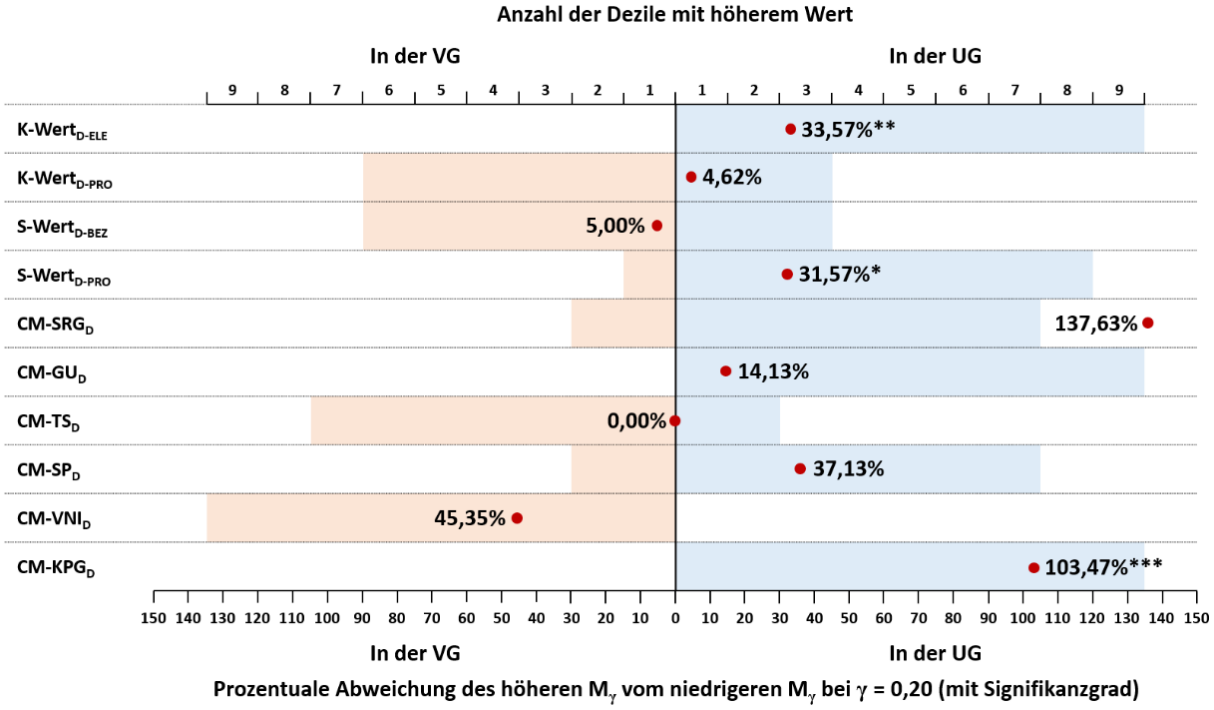


Abbildung 63: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei *D*

Auf der Grundlage des univariaten Gruppenvergleichs ist wie folgt zu konstatieren: Die H_2, die besagt, dass sich die M_γ der Entwicklung der Auswertungsgrößen von t_0 zu t_1 als Indikatoren für die Fähigkeiten nicht signifikant zwischen der UG und der VG unterscheiden, kann mehrheitlich verifiziert werden. Auf der Ebene der Teilhypothesen ist dies empirisch zu begründen mit der ungleichmäßigen Entwicklung der Auswertungsgrößen, die sich folgendermaßen darstellt:

- **Die $H_{2.1}$, die keine signifikante Differenz zwischen der UV und der VG bezüglich des M_γ der Entwicklung von t_0 zu t_1 bei der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Systemgrenze postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Die über den CM-SRG_D bestimmte Fähigkeit zeigt bei *D* eine relative Verbesserung der UG gegenüber der VG, obschon bei beiden Gruppen im getrimmten Mittel eine Verschlechterung vorliegt. Wie die eM_γD erkennen lässt, hat sich der CM-SRG_D bei der UG in

Relation zur VG um 0,656 – 1,374 Prozentpunkte weniger verschlechtert (sehr kleiner Effekt). Die sehr M_{γ}-Differenz ist nicht signifikant und die Hypothese deshalb zu verifizieren. Diese Entscheidung weist eine geringere Konfidenz auf, da für möglichst enge 95%-KIs sowohl seitens der UG (206 – 381) als auch seitens der VG (253 – 312) zusätzliche Proband/innen nötig sind.

- **Die $H_{2.2}$, die keine signifikante Differenz zwischen der UV und der VG bezüglich des M_{γ} der Entwicklung von t_0 zu t_1 bei der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Systemelemente postuliert, ist zu falsifizieren.**
  Empirische Begründung: Der für diese Fähigkeit als Indikator herangezogene K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ zeigt eine $eM_{\gamma}D$ von 1,594 – 1,613 Punkten zugunsten der UG (schwacher bis moderater Effekt). Die M_{γ}-Differenz ist nach α-Fehler-Kontrolle durchgehend sehr signifikant. Wegen der ausreichenden Probandenzahl kann mit hoher Konfidenz (enge 95%-KIs) geschlussfolgert werden, dass sich diese Fähigkeit in der Intervention zwischen den beiden Gruppen unterschiedlich entwickelt hat. In der Konsequenz ist diese Hypothese zu falsifizieren.

- **Die $H_{2.3}$, die keine signifikante Differenz zwischen der UV und der VG bezüglich des M_{γ} der Entwicklung von t_0 zu t_1 bei der betreffenden Auswertungsgröße als Indikator für die Fähigkeit zur Identifikation der Beziehungen zwischen den Systemelementen postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Die als Indikator für diese Fähigkeit fungierende Auswertungsgröße, der S-$Wert_{D\text{-}BEZ}$, offenbart ein differenziertes Bild. Zunächst zeigt sich eine relative Verbesserung der UG gegenüber der VG bei $\gamma = 0{,}05$ um 0,014 Punkte bzw. bei $\gamma = 0{,}10$ um 0,089 Punkte (beides sehr kleine Effekte). Bei $\gamma = 0{,}20$ besteht demgegenüber eine relative Verbesserung der VG gegenüber der UG um 0,227 Punkte (sehr kleiner Effekt). Da in allen Fällen keine Signifikanz vorliegt, ist die $H_{2.3}$ zu verifizieren, wobei diese Entscheidung angesichts der leicht unzureichenden Probandenzahl bei der UG (47 – 66) wie VG (19 – 56) eine leicht herabgesetzte Konfidenz besitzt.

- **Die $H_{2.4}$, die keine signifikante Differenz zwischen der UV und der VG bezüglich des M_{γ} der Entwicklung von t_0 zu t_1 bei den betreffenden Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeit zur Identifikation der Systemprozesse postuliert, ist zu falsifizieren.**
  Empirische Begründung: Diese Fähigkeit wird anhand des K-$Wert_{D\text{-}PRO}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ bestimmt, die beide verschiedene Entwicklungen in der Intervention genommen haben. Auf der einen Seite lässt die M_{γ}-Differenz beim K-$Wert_{D\text{-}PRO}$ eine relative Verbesserung der UG gegenüber der VG ohne Signifikanz erkennen. Die $eM_{\gamma}D$ beträgt 0,048 – 0,175 Punkte (sehr kleiner Effekt). Angesichts der ausreichenden Probandenzahl besitzt das Ergebnis eine hohe Konfidenz (enge 95%-KIs). Auf der anderen Seite ist die M_{γ}-Differenz beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ (erst) nach α-Fehler-Kontrolle signifikant. Die UG hat sich relativ zur VG um 2,564 – 2,736 Punkte ($eM_{\gamma}D$), was einem kleinen Effekt entspricht. Ausgehend von der in Kapitel 4.5.4.3 geschilderten Möglichkeit, Systemprozesse sowohl über Konzepte als auch über Sinneinheiten repräsentieren zu können, liegt wegen der Oder-Bedingung eine Anforderung vor, die für eine Falsifikation signifikante Unterschiede lediglich bei einer der beiden Repräsentationsarten benötigt. Dies trifft auf den S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ zu, sodass die $H_{2.4}$ falsifiziert wird. Es ist einschränkend anzumerken, dass die Konfidenz gering(er) ist, da wegen der Werteverteilung bei der UG (242 – 294) wie VG (142 – 153) weitere Proband/innen benötigt werden.

- **Die $H_{2.5}$, die keine signifikante Differenz zwischen der UV und der VG bezüglich des M_{γ} der Entwicklung von t_0 zu t_1 bei den betreffenden Auswertungsgrößen als Indikatoren für die Fähigkeit zur Identifikation der inneren Systemstruktur, postuliert, ist zu verifizieren.**
  Empirische Begründung: Anhand der Auswertungsgrößen CM-TS_D, CM-GU_D, CM-SP_D und CM-VNI_D wird diese Fähigkeit bestimmt. Wie die statistische Auswertung zeigt, liegen differenzierte Ergeb-

nisse vor. Beim CM-TS_D zeigt sich bei γ = 0,05 nahezu keine Differenz zwischen den beiden Gruppen. Aussagen zu den Gegebenheiten bei γ = 0,10 und γ = 0,20 sind wegen der Werteverteilung nicht möglich, wobei keine zusätzlichen Proband/innen nötig sind. Der CM-GU_D der UG hat sich im getrimmten Mittel um ca. ein gewertetes Konzept bzw. um eine gewertete Sinneinheit relativ zur VG verbessert ($eM_\gamma D$; kleiner Effekt). Die Konfidenz in die nicht signifikante M_γ-Differenz ist etwas eingeschränkt wegen der nicht ganz ausreichenden Probandenzahl bei der UG (24 – 70) wie VG (25 – 50). Ein kleiner Effekt besteht beim CM-SP_D, bei dem die UG im getrimmten Mittel um 9,353 – 11,329 Strukturpunkte in Relation zur VG zugelegt hat ($eM_\gamma D$). Die M_γ-Differenz ist nicht signifikant. Allerdings besitzt dieses Ergebnis wegen der sehr hohen Anzahl von mehreren tausend zusätzlich benötigten Proband/innen eine äußerst geringe Konfidenz. Im Gegensatz zum CM-GU_D und CM-SP_D liegt beim CM-VNI_D eine möglichst präzise Schätzung der M_γ-Differenz vor. Die $eM_\gamma D$ beträgt hier 0,036 – 0,042 Einheiten zugunsten der VG (sehr kleiner Effekt). Auch wenn die Ergebnisse der vier Auswertungsgrößen ein heterogenes Bild zeigen, liegt selbst bei den zugunsten einer der beiden Gruppen ausgefallenen Auswertungsgrößen kein signifikanter Unterschied vor. Folglich ist die $H_{2.5}$ – im Bewusstsein der eingeschränkten bzw. äußerst geringen Konfidenz – zu verifizieren.

Zusammenfassend betrachtet ist es den Proband/innen der UG gegenüber denen der VG in der Intervention in einem (sehr) signifikanten Maße besser gelungen, ihre Werte bei den Systemelementen und den Systemprozessen in Form von Sinneinheiten zu verbessern. Diese relative M_γ-Verbesserung zeigt sich beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ in allen Bereichen der Gruppenwerteverteilung (in allen Dezilen), z.T. sehr signifikant (drei Dezile), sowie beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ in fast allen Bereichen. Folglich ist es den meisten Proband/innen der UG in Relation zu denen der VG stärker gelungen, ihr Systemwissen im Bereich der Systemelemente und -prozesse zu verbessern. Daraus hervorgehend ist es den Meisten in einem hochsignifikanten Maße ebenso stärker gelungen, die Systemrepräsentation sinngemäß mit dem Referenznetz in Übereinstimmung zu bringen; die M_γ-Differenz beim CM-KPG_D fällt mit einer durchaus hohen Konfidenz zugunsten der UG aus und entspricht einem großen Effekt ($eM_\gamma D$ beträgt 4,364 – 4,426 Prozentunkte). Während die meisten Proband/innen der VG (alle Dezile) bzw. die VG als Ganzes (M_γ) die Vernetztheit des Systemwissens (CM-VNI_D) gegenüber den Proband/innen der UG bzw. der UG als Ganzes relativ verbessern konnte(n), trifft der umgekehrte Fall auf den Umfang, d.h. die Anzahl aller gewerteten Konzepte und Sinneinheiten (CM-GU_D) zu: hier haben sich die meisten Proband/innen der UG bzw. die UG als Ganzes vergleichsweise verbessert. Bezüglich der Leistungen im Bereich der Beziehungen zwischen den Systemelementen (S-$Wert_{D\text{-}BEZ}$) zeigt sich bei γ = 0,20 im getrimmten Gruppenmittel eine in Relation größere Verbesserung auf der Seite der VG (ebenso in der Mehrheit der Dezile), wohingegen die UG bei γ = 0,05 und γ = 0,10 eine leichte Verbesserung gegenüber der VG erzielen konnte. Bei den in Konzeptform repräsentierten Systemprozessen (K-$Wert_D$) ist im getrimmten Mittel eine relative Verbesserung der UG gegeben, wobei die Dezile mehrheitlich zugunsten der VG ausgeprägt sind, d.h. in der Breite der Werteverteilung weisen mehr Proband/innen der VG eine relative Verbesserung auf als Proband/innen aus der UG. Die relative Verbesserung der UG bei den Strukturpunkten (CM-SP_D) sollte sich auf die o.g. relativen Verbesserungen bei den Systemelementen/-prozessen zurückführen lassen. Die nicht signifikanten Veränderungen beim CM-TS_D sind wegen der Werteverteilung in beiden Gruppen nur minimal; lediglich bei einem kleinen Teil der Proband/innen der UG (90%-Dezil) hat die Anzahl der Teilstrukturen geringfügig zugenommen gegenüber der Anzahl bei den Proband/innen der VG im gleichen Dezil. Obschon sich in beiden Gruppen die Identifikation der Systemgrenze im getrimmten Mittel verschlechtert hat, ist dies bei den Proband/innen der UG (Mehrheit der Dezile) weniger stark eingetreten als bei denen der VG. Ein inkonsistentes Bild zeigen die multivariaten Hypothesentests auf der Ebene aller AVs (ohne CM-TS_D und CM-KPG_D).

Im Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfrage 2 zur relativen Wirksamkeit der visuellen Auswertung zeigt sich ein differenziertes Bild aufgrund der Tatsache, dass zwei von fünf Teilhypothesen ($H_{2.2}$ und $H_{2.4}$) zu falsifizieren sind. Zwar ist es beiden Gruppen in der Intervention zu großen Teilen in einem signifikanten Maße gelungen, die eigene vorwissensbasierte Systemrepräsentation quantitativ wie qualitativ inhaltlich-strukturell zu verbessern und sich dabei dem unabhängigen Referenznetz der Expert/innen sinngemäß anzunähern, doch sind es bei den beiden falsifizierten Teilhypothesen jeweils die Proband/innen der UG, deren Verbesserung stärker ausgefallen ist. Insgesamt deutet es sich daher an, dass die Proband/innen der UG im Zuge der Luft- und Satellitenbildauswertung signifikant bessere Leistungen in bestimmten Bereichen systemischen Denkens in der BNE erbringen konnten als die Proband/innen der VG im Rahmen der Kartenauswertung. Inhaltlich verortet ist diese Differenz im Bereich der Fähigkeit zur Identifikation von Systemelementen und Systemprozessen (repräsentiert als Sinneinheiten). Hiermit zusammenhängend ist es der UG bei der Luft- und Satellitenbildauswertung stärker gelungen, Systemmerkmale zu integrieren, die mit dem Referenznetz sinngemäß übereinstimmen, bzw. die bestehende Repräsentation daran anzupassen. Der empirisch angedeutete Unterschied kann jedoch durch eine Vielzahl von Einflüssen (mit) verursacht worden sein, weshalb es der umfassenden Diskussion der verschiedenen KVs und ihres moderierenden Einflusses in Kapitel 7.3 bedarf.

Gegebenheiten zu t_1 (CM_{mod})

Einen abschließenden Blick auf die Ausprägung der Auswertungsgrößen beim Gruppenvergleich zu t_1 anhand der robusten Hypothesentests und Dezilvergleiche in Kapitel 6.1.2.6 liefert Abbildung 64.

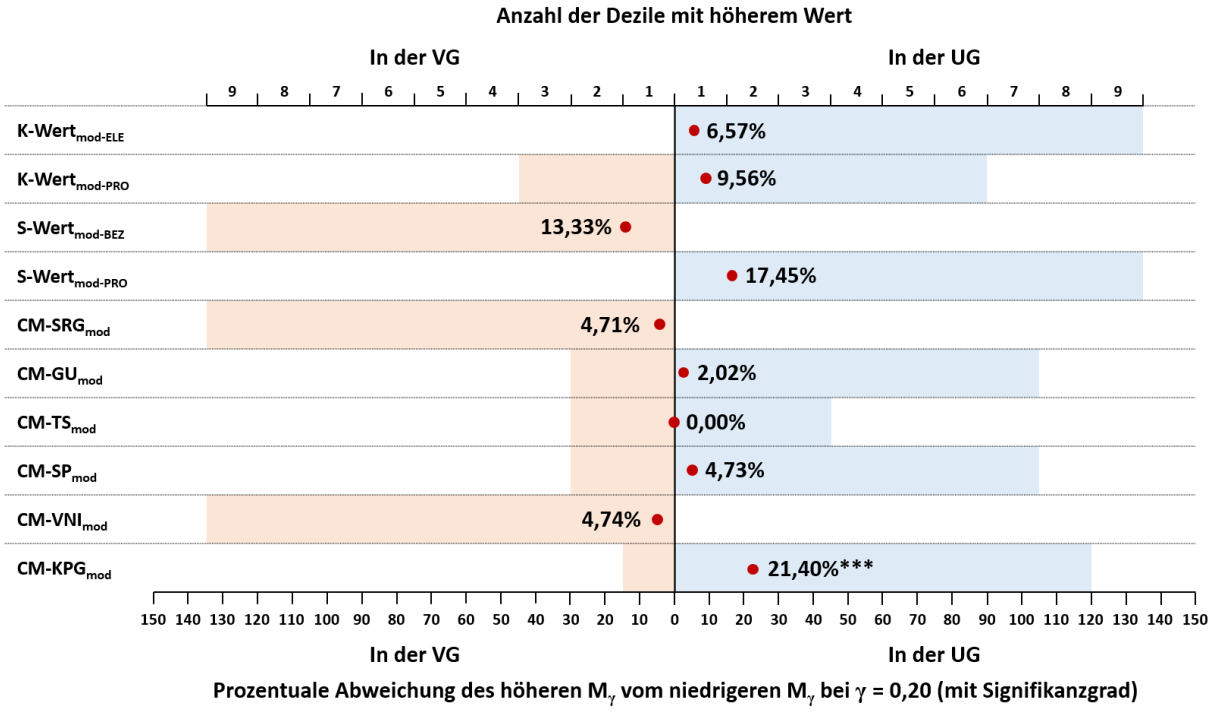


Abbildung 64: Zusammenfassung des univariaten Gruppenvergleichs bei der CM_{mod}

Zu t_1 besitzt die VG noch bei S-$Wert_{mod-BEZ}$, $CM\text{-}SRG_{mod}$ und $CM\text{-}VNI_{mod}$ bei allen drei γ einen höheren M_γ (jeweils kleine Effekte). Bei allen Auswertungsgrößen bis auf den $CM\text{-}TS_{mod}$ ist M_γ seitens der UG höher; ein kleiner Effekt liegt beim K-$Wert_{mod-PRO}$ und ein kleiner bis moderater Effekt beim S-$Wert_{mod-PRO}$ vor. Die M_γ-Differenz ist bei neun Auswertungsgrößen nicht signifikant, wobei dies bezüglich des S-$Wert_{mod-PRO}$ erst nach α-Fehler-Kontrolle gilt, weshalb bei einer geringeren Testanzahl u.U. Signifikanz besteht. Die einzige Auswertungsgröße, bei der eine hochsignifikante M_γ-Differenz und ein moderater

bis großer Effekt bzw. eine größere $eM_{\gamma}D$ (4 Prozentpunkte) – zugunsten der UG – besteht, ist der CM-KPG_{mod}. Die Erkenntnisse für den K-$Wert_{mod\text{-}PRO}$, CM-TS_{mod} und CM-VNI_{mod} besitzen eine hohe Konfidenz (enge 95%-KIs), die bei den anderen Auswertungsgrößen in der Reihenfolge K-$Wert_{mod\text{-}ELE}$ > CM-GU_{mod} / CM-KPG_{mod} > S-$Wert_{mod\text{-}BEZ}$ > S-$Wert_{mod\text{-}PRO}$ >> CM-SRG_{mod} >>> CM-SP_{mod} abnimmt. Wegen der hohen Fallzahlen, die zusätzlich benötigt werden, ist in Bezug auf die drei Letztgenannten von einer äußerst geringen Konfidenz auszugehen. Dass das Systemwissen nicht nur im getrimmten Gruppenmittel quantitativ wie qualitativ ähnlich ist, sondern auch in der gesamten Werteverteilung beider Gruppen, zeigt der Dezilvergleich: abgesehen vom 50%- bis 90%-Dezil beim CM-KPG_{mod} und dem 90%-Dezil des S-$Wert_{mod\text{-}PRO}$ bestehen keine signifikanten Differenzen; beim CM-TS_{mod} besteht ein heterogenes Bild mit nur geringen Unterschieden in den Dezilen. Insgesamt hat sich das zu Interventionsbeginn (t_0) zugunsten der VG ausgeprägte Verhältnis bei den Auswertungsgrößen nicht nur ausgeglichen, sondern es tendiert nun in Richtung der UG: Infolge der z.T. signifikanten relativen Verbesserungen hat letztere zum Interventionsende (t_1) bei sechs von zehn Auswertungsgrößen sowohl den höheren M_{γ} als auch eine höhere Ausprägung in allen oder der Mehrheit der Dezile. Darüber hinaus stimmt das in dieser Gruppe repräsentierte Systemwissen im getrimmten Gruppenmittel in einem hochsignifikanten Maße stärker mit dem Referenznetz der Expert/innen überein; dies gilt für die meisten Proband/innen der UG (neun Dezile). Da die Konfidenz der o.g. Erkenntnisse bei zahlreichen Auswertungsgrößen etwas bis z.T. äußerst stark eingeschränkt ist, sind die zuvor gemachten Aussagen mit Vorsicht zu betrachten. Wegen der inkonsistenten Ergebnisse des multivariaten Gruppenvergleichs kann abschließend nicht eindeutig geklärt werden, inwiefern eine signifikante Differenz zwischen der UG und der VG auf der Ebene aller AVs (ohne den CM-TS_{mod} und CM-KPG_{mod}) zu t_1 vorliegt.

7.3 Diskussion der Fragebogenergebnisse und Beantwortung von Forschungsfrage 3

Neben dem Erhebungsinstrument CM sind drei Fragebögen zur Erfassung der dispositionalen bzw. situationalen Ausprägung von KVs zum Einsatz gekommen. Die robusten Kennwerte und Testergebnisse zu den verschiedenen Items und Skalenindices sind in Kapitel 6.2 vorgestellt worden. Die Fragebögen wurden eingesetzt, um im Kontext der optionalen Forschungsfrage 3 personale Variablen zu identifizieren, die signifikante Unterschiede in der Entwicklung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE zwischen den beiden Medien (Testgruppen) moderieren. Die Untersuchung der Frage ist für den Fall vorgesehen, dass ein signifikanter Unterschied, d.h. die Falsifizierung der H_2 vorliegt. Wie in Kapitel 7.2 dargestellt, sind zwei der fünf Teilhypothesen zu falsifizieren. Infolgedessen ist über die in Kapitel 6.3 durchgeführten robusten (ko-)varianzanalytischen Untersuchungen untersucht worden, ob die signifikant unterschiedliche Entwicklung der Testgruppen in der Intervention (signifikante M_{γ}-Differenz bei *D*) mit der Einwirkung von KVs in Verbindung steht, die aus dem forschungsmethodischen Rahmen dieser Arbeit abgeleitet wurden (vgl. Kapitel 4.2). Im Vorfeld der (Ko-)Varianzanalysen ist wegen der Gruppenzuteilung nach Kursstufenklassen eine robuste Analyse des Einflusses der potenziellen Störvariable Schulklasse bei $\gamma = 0{,}20$ durchgeführt worden. Wie die ANOVA-Ergebnisse in Kapitel 6.3.1 nach α-Fehler-Kontrolle andeuten, liegt kein systematisches Muster vor, demzufolge eine bestimmte Klasse bei der Mehrzahl oder allen Auswertungsgrößen signifikant bessere Leistungen gegenüber allen anderen Klassen der Gruppe gezeigt hat. Es ist deshalb geschlussfolgert worden, dass mit Blick auf die Intervention (*D*) über die natürliche Heterogenität zwischen Schulklassen hinaus kein systematischer Klasseneffekt aufgetreten ist, weshalb die Leistungen der Proband/innen auf der Ebene der Testgruppen (ko-)varianzanalytisch auf Effekte im Bereich von K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ hin analysiert wurden. Wie die Testergebnisse der robusten ANOVA und ANCOVA in Kapitel 6.3.2 und 6.3.3

erkennen lassen, liegen die in Tabelle 87 zusammengefassten Effekte im Kontext bestimmter KVs in Fragebogen A und C vor, für die – soweit möglich – jeweils statistische Trends herausgearbeitet sind, die sich aus den Testergebnissen ableiten lassen. Die Effekte tragen einen moderierenden Charakter, da sie zwischen den Testgruppen eine differenzierte Wirkung zeigen. In diesem Sinne handelt es sich bei ihnen auf der Grundlage der Testergebnisse um jene Variablen, die im Kontext von Forschungsfrage 3 zu identifizieren gewesen sind.

Tabelle 87: Effekte mit differenzierter Wirkung zwischen den Testgruppen

Fragebogen A
»Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache« Proband/innen mit deutscher Sprache von Geburt an haben mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht als Proband/innen mit später erlerntem Deutsch (Haupteffekt), wobei die aus der UG jeweils mehr Punkte erzielt haben (ordinale Interaktion). **Statistischer Trend**: Nicht reliabel wegen zu weniger Gruppenwerte bei einer Faktorstufe.
»Alter« Die 16- bis 17-Jährigen der UG haben einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als die Gleichaltrigen der VG. **Statistischer Trend**: Nicht eindeutig wegen Überlagerung durch die Testgruppenzugehörigkeit.
»Vorerfahrung im Computerumgang« Unter den Proband/innen mit überhaupt keiner bis viel Vorerfahrung haben die aus der UG mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erzielt. Von den Proband/innen mit sehr viel Vorerfahrung haben hingegen die der VG mehr Punkte hinzugewonnen. Bei der VG ist die Differenz der Punkte zwischen viel und sehr viel Vorerfahrung um einen Punkt größer als bei der UG. **Statistischer Trend**: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.
Fragebogen C
Skalenindex »Wahrgenommene Kompetenz bei der visuellen Auswertung« Von allen Proband/innen, die ein geringes Kompetenzerleben berichten (Index-Wert < 1,0 – 1,1), haben die aus der UG mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ als die aus der VG: die Gruppendifferenz steigt umso mehr an, je mehr eigene Kompetenz empfunden wurde (dies gilt in einer nicht signifikanten Weise auch für den K-Wert$_{D\text{-}ELE}$). **Statistischer Trend**: Je mehr eigene Kompetenz wahrgenommen werden konnte, desto mehr Punkte hat die UG gegenüber der VG beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht. Wegen der statistischen Abhängigkeit ist Vorsicht walten zu lassen.
Skalenindex »Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung« (umgepolt) Von allen Proband/innen mit größeren Schwierigkeiten (Index-Wert < 2,0) haben die aus der VG etwas mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als die aus der UG. Umgekehrt zeigen von allen Proband/innen mit geringeren Schwierigkeiten die aus der UG mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$, wobei die Differenz gegenüber der VG umso mehr zunimmt, je weniger Schwierigkeiten bestanden haben (u.a. weil die Punktezahl bei der VG rückläufig ist). Beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ weisen die Proband/innen der UG fast durchgehend mehr Punkte auf als die der VG; dies trifft selbst bei denjenigen mit (eher) großen Schwierigkeiten zu (allerdings begrenzte Reliabilität aufgrund zu weniger Gruppenwerte). Die Gruppendifferenz ist umso größer, je weniger Schwierigkeiten bestanden. **Statistischer Trend**: Je weniger Schwierigkeiten empfunden wurden, desto mehr Punkte hat die UG gegenüber der VG beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht. Wegen der statistischen Abhängigkeit ist Vorsicht walten zu lassen.

Neben den Effekten mit moderierendem Charakter sind in Kapitel 6.3.2 und 6.3.3 des Weiteren signifikante Effekte aufgedeckt worden, die zwischen den Antwortkategorien über beide Testgruppen hinweg differenziert gewirkt haben (Tabelle 88). Bei ihnen handelt es sich um die Haupteffekte im Rahmen der ANOVA sowie um Effekte im Kontext der ANCOVA, die statistische Zusammenhänge gezeigten, die Haupteffekten gleichkommen. Es sind auch hier – soweit möglich – jeweils die statistischen Trends hervorgehoben, die auf M_{γ}-Differenzen der Proband/innen beider Gruppen zwischen den Antwortkategorien beruhen, die über diese hinweg sukzessive zu- oder abnehmen.

Tabelle 88: Effekte mit differenzierter Wirkung zwischen den Antwortkategorien

Fragebogen A
»Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache« Proband/innen mit deutscher Sprache von Geburt an haben mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht als Proband/innen mit später erlerntem Deutsch (Haupteffekt), wobei die aus der UG jeweils mehr Punkte erzielt haben. **Statistischer Trend**: Nicht eindeutig wegen äußerst geringer Reliabilität.
»Stunden Erdkunde/GWG pro Woche« Proband/innen mit vier Stunden Erdkunde/GWG pro Woche haben mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erzielt als Proband/innen ohne oder mit nur zwei Stunden pro Woche. Allerdings sind es die aus der UG, die häufiger vier Stunden haben, während die aus der VG häufiger zwei Stunden haben. **Statistischer Trend**: Nicht eindeutig, ob mit der Gruppenzugehörigkeit zusammenhängend oder umgekehrt.
Skalenindex »Selbstwirksamkeit Computerumgang« Sowohl bei der VG als auch bei der UG (nach *runmean2g*) zeigen sich ein zunehmend größer werdender K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. S-Wert$_{D\text{-}PRO}$, je höher die Selbstwirksamkeit ist. **Statistischer Trend**: Je größer die Selbstwirksamkeit der Proband/innen gewesen ist, umso mehr Punkte haben sie beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht.
Fragebogen C
Skalenindex »Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung« Bei steigendem Interesse/Vergnügen nimmt der S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ in beiden Gruppen zu. **Statistischer Trend**: Je größer das Interesse/Vergnügen der Proband/innen gewesen ist, umso mehr Punkte haben sie beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht.
»Raumzeitliche Veränderungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen können« Die Proband/innen beider Gruppen, die eher Vorstellungen haben, weisen mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ auf als diejenigen, die teilweise Vorstellungen angegeben haben. **Statistischer Trend**: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.
»Raumzeitliche Veränderungen im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen können« Die Proband/innen beider Gruppen, die eine völlige Vorstellung hatten, weisen mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ auf als die mit der Antwort »Teils, teils«. **Statistischer Trend**: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.
»Wissenslücken in der CM$_{vorw}$ schließen können« Diejenigen beider Gruppen, die ihre Lücken völlig schließen konnten, haben sowohl beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als auch beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ mehr Punkte erreicht als alle anderen. Beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ haben die Proband/innen allgemein umso mehr Punkte ergänzt, je mehr sie die Lücken schließen konnten. **Statistischer Trend**: Je mehr die Proband/innen das Gefühl hatten, ihre Wissenslücken schließen zu können, umso mehr Punkte haben sie beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht. Kein eindeutiger Trend beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ über alle Antwortkategorien hinweg.
»Neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten erstellen können« In beiden Gruppen sind umso mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht worden, je mehr die Proband/innen in der Lage waren, neue Relationen zu erstellen. Allerdings zeigen diejenigen, die neue Relationen eher konstruieren konnten, weniger Punkte als diejenigen, die neue Relationen teilweise konstruieren konnten. **Statistischer Trend**: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.
»CM$_{mod}$ besser gelungen als CM$_{vorw}$« Diejenigen aus beiden Gruppen, deren CM$_{vorw}$ viel besser gelungen ist, haben deutlich mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ als alle anderen, die ungefähr gleich viele Punkte bei beiden Auswertungsgrößen aufweisen. Proband/innen, denen die CM$_{vorw}$ gleich gut gelungen ist, konnten allerdings mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erzielen als Proband/innen, denen die CM$_{mod}$ eher besser gelungen ist. **Statistischer Trend**: Beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.
»Einfache CM$_{vorw}$-Modifikation mit CmapTools« Diejenigen aus beiden Gruppen, denen die Modifikation einfach gefallen ist, weisen deutlich mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ auf als alle anderen, wobei der Punkteunterschied beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ wie S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ umso kleiner wird, je mehr die anderen Proband/innen die Modifikation in CmapTools als einfach empfunden haben (Beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ haben die anderen Proband/innen jeweils ungefähr gleich viele Punkte erreicht). **Statistischer Trend**: Je mehr die Proband/innen die Modifikation in CmapTools als einfach empfunden haben, umso mehr Punkte haben sie beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht.

»Zufriedenheit mit CM_{mod}«

In beiden Gruppen sind umso mehr Punkte beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ erreicht worden, je mehr die Proband/innen mit der CM_{mod} zufrieden gewesen sind.

Statistischer Trend: Je mehr die Proband/innen CM_{mod} zufrieden gewesen sind, umso mehr Punkte haben sie beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ erreicht.

»Schwierigkeiten bei der CM_{vorw}-Modifikation« (umgepolt)

Beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ haben die Proband/innen beider Gruppen mit überhaupt keinen Schwierigkeiten bedeutend mehr Punkte gesammelt als diejenigen, die (eher) große Schwierigkeiten hatten. Beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ haben die Proband/innen beider Gruppen umso mehr Punkte erreicht, je weniger Schwierigkeiten sie bei der Modifikation hatten.

Statistischer Trend: Je weniger Schwierigkeiten die Proband/innen bei der Modifikation der CM_{vorw} empfunden haben, umso mehr Punkte haben sie beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ erreicht. Nicht eindeutig beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ über alle Antwortkategorien hinweg.

»Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Systeminformationen als Konzepte« (umgepolt)

Diejenigen aus beiden Gruppen, die eher keine Schwierigkeiten hatten, haben mehr Punkte beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ wie S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ erzielt als diejenigen, die teilweise Schwierigkeiten hatten.

Statistischer Trend: Beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.

»Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten anhand von Systeminformationen« (umgepolt)

Die Proband/innen beider Gruppen, die eher keine Schwierigkeiten hatten, haben mehr Punkte beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ erreicht als die mit teilweise bzw. (eher) großen Schwierigkeiten.

Statistischer Trend: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.

»Langeweile bei der CM_{vorw}-Modifikation« (umgepolt)

Diejenigen aus beiden Gruppen, die sich (eher) nicht gelangweilt haben, zeigen mehr Punkte beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ als die Proband/innen, die sich teilweise gelangweilt haben.

Statistischer Trend: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.

»Große Mühe bei der CM_{vorw}-Modifikation«

Diejenigen Proband/innen beider Gruppen, die sich eher große Mühe gegeben haben, weisen mehr Punkte beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ auf als die, die sich nur teilweise Mühe gegeben haben.

Statistischer Trend: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.

»Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens für die CM_{vorw}-Modifikation«

Diejenigen beider Gruppen, denen die Zeit zu lang war, haben weniger Punkte beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ erreicht als die, denen die Zeit genau ausgereicht hat bzw. die etwas mehr Zeit (bis zu 10 Minuten) benötigt hätten. Proband/innen, die noch bis zu 5 bzw. 5 – 10 Minuten mehr benötigt hätten, haben jeweils mehr Punkte als Proband/innen, denen die Zeit ausgereicht hat. Probanden, die noch mehr als 10 Minuten benötigt hätten, haben die wenigsten Punkte.

Statistischer Trend: Nicht über alle Antwortkategorien hinweg eindeutig.

Nachfolgend werden in Kapitel 7.3.1 die Testergebnisse zu den KVs in Fragebogen A mit den Effekten aus Tabelle 87 und Tabelle 88 zusammengeführt und zusammenfassend diskutiert; das Gleiche erfolgt in Kapitel 7.3.3 für die KVs in Fragebogen C. Zwischenzeitlich werden in Kapitel 7.3.2 die Testergebnisse zu den KVs in Fragebogen B diskutiert. Neben den aufgedeckten Effekten können u.U. auch nicht aufgedeckte von Bedeutung sein und eine eigene Information für sich darstellen (z.B. wenn ein Effekt zu erwarten gewesen wäre). Allerdings ist diesbezüglich zu beachten, dass nicht identifizierte Effekte auf verschiedene Gründe zurückzuführen sein können, zu denen neben statistischen auch eine falsche Selbsteinschätzung in Relation zur eigenen Leistung gehören kann (vgl. Sundström 2005; Ehrlinger et al. 2008). Des Weiteren ist generell zu beachten, dass ein Teil der Effekte im Zusammenhang mit einer Zusammenfassung von Antwortkategorien steht.

7.3.1 Diskussion der KVs in Fragebogen A und aufgedeckte Effekte

Nachfolgend wird die dispositionale Ausprägung der über Fragebogen A erhobenen KVs itemweise diskutiert, wobei die Bedeutung/Tragweite der mit ihnen verbundenen Effekte eingeschätzt wird.

Grunddaten der Proband/innen

Alter: Trotz der gezielten Auswahl von Kursstufenschüler/innen liegt ein zwischen den beiden Gruppen differenzierender Effekt im Bereich des K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ vor. Die 16- bis 17-Jährigen der UG weisen einen signifikant höheren M_{γ} auf als die Gleichaltrigen der VG. Dieser Effekt lässt sich wegen der gleichzeitigen Überlagerung durch die Gruppenzugehörigkeit in seiner Bedeutung/Tragweite nicht eindeutig einschätzen. Da die Proband/innen beider Gruppen im getrimmten Mittel fast genau gleich alt sind (ca. 17 Jahre), könnte der Effekt ausschließlich auf die Gruppenzugehörigkeit zurückzuführen sein.

Geschlecht: Es liegt eine gleichmäßige Verteilung der Proband/innen nach Geschlecht vor.

Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache: In beiden Gruppen wird Deutsch weitestgehend von Geburt an gesprochen. Es besteht ein Haupt- wie Interaktionseffekt beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ mit einer jeweils geringen Reliabilität wegen zu weniger Gruppenwerte bei einer Faktorstufe. Dass verbale Fähigkeiten/Kompetenzen sowohl beim Concept Mapping (vgl. Kapitel 2.3.2) als auch bei der Versprachlichung von Bild- bzw. Karteninformationen (vgl. Kapitel 2.4.2.2, 2.4.3.2 bzw. 2.4.4.2) eine bedeutende Rolle spielen, wird im weiteren Verlauf näher ausgeführt. Inwiefern dies hier ausschlaggebend gewesen ist, bleibt wegen der geringen Reliabilität unaufgeklärt.

Klassenstufe: Die gleichmäßige Aufteilung ist das Ergebnis der gezielten Selektion von Klassen der Jahrgangsstufe 11 und z.T. auch 12.

Stunden Erdkunde/GWG pro Woche: Die UG hat trotz der zufälligen Klassenzuweisung zu den Gruppen hochsignifikant häufiger vier Stunden Erdkunde/GWG pro Woche, während die VG hochsignifikant häufiger zwei Stunden oder überhaupt kein Erdkunde/GWG hat. Der vorliegende Haupteffekt beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ lässt sich nicht eindeutig interpretieren, da unklar bleibt, ob dieser mit der Anzahl der Stunden oder mit der Gruppenzugehörigkeit einhergeht. Dass bei der 4-stündigen Kursstufe wie auch bei der 2-stündigen gemäß baden-württembergischem Bildungsplan für Geographie in der Kursstufe (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004) für die Erschließung des Systems Braunkohleabbau relevante Themen und Inhalte sowie eine diesbezüglich wichtige Raumanalyse Unterrichtsgegenstand sind, ist in Kapitel 2.1.4.2 aufgezeigt worden. In der 2-stündigen Kursstufe geht es u.a. um die Förderung, *„für eine ausgewählte Kulturlandschaft die maßgebenden Systemelemente und deren Beziehungen untereinander erfassen, hierzu ein spezifisches Wirkungsgefüge entwickeln, die Prozesse analysieren*“ (ebd., S. 243) zu können. Vergleichbares findet sich bei der 4-stündigen Kursstufe in einem wesentlich ausführlicheren Maße (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004). Obschon in der 2-stündigen Kursstufe vergleichbare Ziele vorliegen, werden diese in der 4-stündigen (erwartungsgemäß) intensiver und ausführlicher angestrebt. Angesichts dessen ist davon auszugehen, dass Proband/innen mit vier Stunden Erdkunde/GWG pro Woche mit einer systemischen Raumanalyse sowie mit der Repräsentation ihrer Ergebnisse in Beziehungsgeflechten, die z.T. systemischen Darstellungstechniken ähneln, (etwas) geübter und vertrauter sein sollten als Proband/innen aus der 2-stündigen Kursstufe. Dies kann u.U. auf den Umfang und die Tiefe sowie auf die Qualität der Auseinandersetzung mit dem System Braunkohleabbau und den Transfer in die CM_{vorw} eingewirkt haben. Es ist in Betracht zu ziehen, dass der signifikante Haupteffekt durch die Gruppenzugehörigkeit u.U. für die signifikante Gruppendifferenz beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ als solche von Bedeutung ist.

Letzte Schulnote im Fach Erdkunde/GWG, *Deutsch* und *Mathematik*: In beiden Gruppen ist als letzte Schulnote jeweils mehrheitlich »Gut« bis »Befriedigend« angegeben worden.

Gesehene Zahl beim Ishihara-Farbtest: Bei dem in Anlehnung an Kollar (2012) zur Überprüfung des physischen Sehvermögens (Rot-Grün-Sehschwäche) eingesetzten Ishihara-Farbtest hat die Mehrheit in beiden Gruppen die abgebildete Zahl richtig erkannt.

Computerumgang

Vorerfahrung: In beiden Gruppen wird mehrheitlich mittelmäßig bis viel Erfahrung geäußert. Der moderierende Effekt im Bereich des S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ (disordinale Interaktion) zeigt keine eindeutige Tendenz über alle Antwortkategorien hinweg.

Dauer der täglichen Nutzung: Mit < 0,5 bis 2 Stunden zeigt die Mehrheit in beiden Gruppen eine große Spannweite bei der täglichen Nutzungshäufigkeit.

Selbstwirksamkeit: In beiden Gruppen liegt im getrimmten Mittel eine eher positive Selbstwirksamkeit vor. Die grobe Tendenz deutet gemäß *runmean2g* daraufhin, dass mit einer zunehmend höheren Selbstwirksamkeit eine zunehmend höhere Punktezahl bei beiden Auswertungsgrößen erreicht wird[195]. Es deutet sich hier ein positiver Zusammenhang zur Leistung an. Dies könnte zurückzuführen sein auf die allgemein positive Wirkung einer hohen Selbstwirksamkeit u.a. auf Motivation und Interesse, Anstrengung und Ausdauer sowie Lernprozesse und Leistungen, wobei dies selbst Lernprozesse und Tätigkeiten betreffen kann, die zuvor noch nicht durchlaufen/ausgeführt wurden (Schunk & DiBenedetto 2016: 34ff.). Den Autorinnen zufolge unterstützt eine hohe Selbstwirksamkeit Lernprozesse und Leistungen, indem „*Students who feel more efficacious about learning should be more apt to engage in self-regulated learning* […] *and create effective environments for learning (e.g., eliminate or minimize distractions* […]*).*“ (ebd., S. 35). Der geschilderte Zusammenhang könnte den empirisch aufgedeckten widerspiegeln: Je höher die Selbstwirksamkeit vorab gewesen ist, umso mehr könnte die selbständige computerbasierte Arbeit in der Intervention als ansprechend empfunden worden sein und umso mehr könnte sich dies positiv auf die Leistung ausgewirkt haben[196]. Der umgekehrte Fall lässt sich damit erklären, dass eine geringe Selbstwirksamkeit zu geringerer Teilnahmebereitschaft, Anstrengung und Ausdauer sowie zu wenig Resilienz gegenüber Herausforderungen/Schwierigkeiten bei den computerbasierten Aktivitäten geführt haben könnte. Die fehlende Signifikanz der Ergebnisse weist darauf hin, dass dieser Zusammenhang in beiden Gruppen aufgetreten ist. Allerdings ist in Anlehnung an die o.g. Autorinnen davon auszugehen, dass die Leistung im Bereich der untersuchten Auswertungsgrößen auf die visuelle Auswertung selbst bzw. auf die Einwirkung weiterer KVs zurückzuführen sein kann. In Bezug auf letztere ist die Bedeutsamkeit/Wichtigkeit relevant, die einem Lernprozess bzw. einer Tätigkeit beigemessen wird, sowie die Tatsache, ob eine positive Wirkung daraus erwartet wird wie z.B. eine Belohnung. Auch Umweltvariablen wie der Lern-/Tätigkeitskontext können den Autorinnen zufolge von Bedeutung sein, weshalb in Betracht zu ziehen ist, dass das außerschulische Umfeld der Intervention u.U. die Einschätzung der Selbstwirksamkeit beeinflusst haben könnte.

Inhaltliches Vorwissen

Thema Braunkohleabbau: Beide Gruppen geben mehrheitlich ein geringes bis mittelmäßiges Vorwissen an. Es ist zu vermuten, dass die häufigere wöchentliche Auseinandersetzung mit für die Intervention relevanten Aspekten im Fach Erdkunde/GWG seitens der UG dazu beigetragen haben könnte, dass die Proband/innen dieser Gruppe insgesamt ein hochsignifikant größeres Vorwissen in Bezug auf das System Braunkohleabbau angegeben haben, u.a. hochsignifikant seltener überhaupt kein Vorwissen. Angesichts der allgemein sehr großen Bedeutung (Schulz-Heidorf 2017), die dem bereichsspezifischen Vorwissen auch aus Sicht der Forschung zum systemischen Denken (vgl. Kapitel 2.2.3 bzw.

[195] Gemäß R-Funktion *lplot2g* nehmen Beide bei der UG ab einem Index-Wert von ca. 3,3 – 3,4 wieder ab.

[196] Häufig zeigen Lernende mit größeren Fähigkeiten/Kompetenzen eine höhere Selbstwirksamkeit, weshalb eine bessere Leistung oftmals nicht zuletzt auch ein Ausdruck des Wissens bzw. Könnens ist (vgl. Schunk & DiBenedetto 2016: 38). Mit Blick auf die Selbstwirksamkeit in Bezug auf den Computerumgang ist zu beachten, dass (jedoch) kein Haupteffekt beim Item zur Computererfahrung vorliegt (wonach eine größere Erfahrung zu mehr Punkten führen sollte).

2.2.4), der Concept-Mapping-Forschung (vgl. Kapitel 2.3.2), der Fernerkundungsdidaktik (vgl. Kapitel 2.4.2.2) und Kartendidaktik (vgl. Kapitel 2.4.3.2) sowie der Kognitionswissenschaft bzw. -psychologie und Bildwissenschaft (vgl. Kapitel 2.3.1 bzw. 2.4.4.2) zugewiesen wird, ist davon auszugehen, dass mit zunehmendem Vorwissensstand eine Steigerung der Leistung wie z.B. in der Untersuchung von Hildebrandt (2006) verbunden ist. Im Kontext dieser Unstersuchung sollte sich dies in einer (signifikant) besseren Leistung der UG zu t_0 ausdrücken. Jedoch deuten die Testergebnisse vielmehr darauf hin, dass die VG zu t_0 bei sieben der zehn Auswertungsgrößen sowohl den etwas höheren M_γ als auch die größere Anzahl an Dezilen mit höherem Wert aufweist (vgl. Abbildung 62). Auch die Testergebnisse der ANOVA lassen keinen moderierenden Effekt erkennen, der auf eine differenzierte Gruppenwirkung hindeutet. Folglich bestehen keine empirischen Hinweise auf ein größeres Systemvorwissen der UG. Wie in Kapitel 7.3.2 ausführlicher diskutiert wird, bestehen ferner keine Anzeichen, die darauf hindeuten, dass es der UG – als mögliche Erklärung für die schlechtere Leistung zu t_0 – vergleichsweise schwerer gefallen ist, das eigene Systemvorwissen zu repräsentierten (die bestehenden Differenzen bei der Konzeptverknüpfung deuten vielmehr auf größere Komplikationen bei der VG hin). Auch motivationale Differenzen liegen keine vor. Mit Blick auf die Leistung in der Intervention können die besseren Ergebnisse der UG durchaus als ein Indiz für die Wirkung eines größeren Vorwissens verstanden werden. Es ist diesbezüglich zu bedenken, dass die Testergebnisse der ANOVA keinen moderierenden Effekt erkennen lassen, der auf eine differenzierte Gruppenwirkung hindeutet. Schlussendlich gibt es keine (eindeutigen) Anhaltspunkte für eine signifikante Vorwissensdifferenz. Unter Umständen liegen hier Fehleinschätzungen (in beiden Gruppen) vor.

Thema Nachhaltigkeit: Beide Gruppen geben an, mehrheitlich mit wenig bis viel Vorerfahrung in die Intervention hineingegangen zu sein, weshalb es mit Blick auf die Zielsetzung dieser Arbeit notwendig gewesen ist, ein kurzes Methodentraining zu dieser Thematik durchzuführen. Mögliche Einflüsse sind wegen der Beeinflussung durch das Methodentraining nicht bestimmt worden.

Arbeitsmedium Luft- und Satellitenbilder bzw. (topographische) Karten

Durchschnittliche Häufigkeit der schulischen Nutzung: Die schulische Nutzung geben beide Gruppen als mehrheitlich höchstens einmal pro Jahr an, wobei sie bei der VG signifikant häufiger erfolgt (ohne Effekt). Dies bestätigt die bereits von Siegmund (2011), Hassenpflug (2012: 258), Kollar (2012) und Ditter (2013) festgestellte geringe unterrichtliche Repräsentanz von Luft- und Satellitenbildern und lässt sich als ein empirischer Hinweis auf eine geringere Vorerfahrung seitens der UG ansehen.

Durchschnittliche Häufigkeit der privaten Nutzung: Die Mehrheit beider Gruppen lässt erkennen, dass eine private Nutzung noch nie erfolgt ist. Eine kleinere Anzahl an Proband/innen gibt eine Spannweite von weniger als einmal pro Jahr bis hin zu einem monatlichen Turnus an. Damit findet die von Reuschenbach (2007), Siegmund (2011), Kollar (2012), Ditter et al. (2012: 220) und Ditter (2013) attestierte zunehmende Bedeutung der Luft- und Satellitenbilder in der Freizeit durch die (älteren) Proband/innen in dieser Arbeit keine Bestätigung.

Durchschnittliche Häufigkeit der Erderkundung mithilfe des jeweiligen Mediums: Die Erderkundung mittels Google Maps oder Google Earth (UG) bzw. in Google Maps, Bing Maps oder Diercke Globus Online (VG) erfolgt in beiden Gruppen mehrheitlich auf einer monatlichen bis jährlichen Basis, wenn auch die VG die Nutzung ihres Mediums zu diesem Zweck (gerade noch) signifikant häufiger angibt (ohne Effekt). Insgesamt deutet das Nutzungsverhalten auf eine häufigere Kartenverwendung hin.

Aus den drei Items zur schulischen/privaten Nutzung und Erderkundung wird insgesamt deutlich, dass das für die visuelle Auswertung seitens der UG bedeutsame Maß an grundlegenden methodischen Kenntnissen im Bereich der Luft- und Satellitenbilder und ihrer Auswertung wahrscheinlich nicht

gleichmäßig vorgelegen hat, da in dieser Gruppe 25,2% der Proband/innen dieses Medium noch nie unterrichtlich und sogar 37,0% noch nie privat eingesetzt haben. Der direkte Vergleich des Antwortverhaltens beim Item zur Erderkundung mit dem bei den beiden Items zur schulischen/privaten Nutzung offenbart bei der UG allerdings einen Widerspruch, da erstere bedeutend häufiger in einen regelmäßigeren Turnus erfolgt. Dies kann sich möglicherweise mit der Erkenntnis von Ditter (2013) erklären lassen, dass „*dass viele Schüler das Medium Satellitenbild primär aus der privaten Nutzung von Google Earth und Co zwar kennen, es aber häufig nicht mit dem Begriff „Satellitenbild" in Verbindung bringen*" (ebd., S. 45). Folglich sind die Ergebnisse der UG bei den beiden Items zur schulischen/privaten Nutzung u.U. mit Vorsicht zu sehen (mögliche Fehleinschätzung).

Bevorzugte Ansicht in Google Maps: In beiden Gruppen werden von der Mehrheit der Proband/innen beide Ansichten bevorzugt. Auffällig ist, dass eine größere Anzahl in der UG die Kartenansicht bevorzugt, während in der VG eine größere Anzahl Luft- und Satellitenbildansicht favorisiert.

Selbstwirksamkeit: Die Selbstwirksamkeit wird in der UG trotz der geringeren Nutzungshäufigkeit und der in der Folge geringeren Vorerfahrung bei $\gamma = 0{,}05$ bzw. $\gamma = 0{,}20$ signifikant höher eingeschätzt als in der VG (ohne Effekt). Es ist zu vermuten, dass das größere dispositionale Interesse, das sich bei Hemmer & Hemmer (2010: 91ff.) bzw. Siegmund (2011) gezeigt hat, hierbei eine Rolle spielen könnte. Sowohl das realistische Aussehen und das dadurch hervorgerufene Gefühl von universaler Lesbarkeit von (hochaufgelösten) Luft- und Satellitenbildern als auch die Bildkomplexität/Farbgebung könnten einen größeren Anreiz dargestellt haben als die abstrakt-reduzierenden und wenig ästhetisch-emotional ansprechenden Karten (vgl. Kapitel 3.3.2). Ein weiterer Aspekt könnte die Tatsache gewesen sein, dass die UG noch nicht in dem Maße darauf ausgerichtet (unterrichtlich konditioniert) ist, die Inhalte von Luft- und Satellitenbildern zu verstehen und zu interpretieren. Inwiefern die höhere Selbstwirksamkeit im Sinne des Ablaufschemas von Weidenmann bei der UG zu einem vergleichsweise höheren Bedarf an Normalisierungsversuchen und in der Folge zu einer tieferen Beschäftigung in der Intervention geführt hat, oder ob eine Überschätzung (vgl. hierzu in Schunk & DiBenedetto 2016: 43) wie bei der Studie von Wastl (2000) eingetreten ist, kann nicht beantwortet werden. Angesichts der zuvor geschilderten Zusammenhänge zwischen (einer korrekt eingeschätzten) Selbstwirksamkeit auf der einen Seite und Aspekten wie Motivation, Interesse, Anstrengung, Ausdauer, Lernprozessen und Leistungen auf der anderen Seite ist zu erwarten, dass die höhere Einschätzung seitens der UG mit einer besseren Leistung im Bereich der beiden Auswertungsgrößen einhergehen sollte. Da das Konzept der Selbstwirksamkeit jedoch dynamisch ist und sich im Zuge einer Aktivität verändern kann (Schunk & DiBenedetto 2016: 34ff.), ist zu bedenken, dass es sich bei beiden Gruppen im Methodentraining verändert haben kann – u.U. auch derart, dass die VG durch die Fokussierung (Besinnung) auf ihre Erfahrungen mit der Kartenarbeit zur UG aufgeholt und diese ggf. überholt hat. Mögliche Einflüsse durch die o.g. KVs sind wegen der Beeinflussung durch das Methodentraining nicht bestimmt worden.

Repräsentationsmethode

Vorerfahrung Mind Mapping: In beiden Gruppen wird mehrheitlich (sehr) viel Vorerfahrung angegeben. Dies könnte die unterrichtliche Verwendung der Methode widerspiegeln, die im baden-württembergischen Bildungsplan für Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2004), in den Bildungsstandards im Fach Geographie (DGfG 2012) sowie in anderen Fächern wie z.B. Deutsch (KMK 2003), in Schulbüchern für den Geographieunterricht in der Ober-/Kursstufe (Ernst Klett Verlag GmbH 2007b), in geographiedidaktischer Literatur (Haubrich 2006; Rinschede 2007; Wüthrich 2013) und in der fachdidaktischen Literatur anderer Schulfächer wie z.B. Biologie (Rous 2016) oder Physik (Girwidz 2015: 870) explizit (zur Förderung von Methodenkompetenz) erwähnt wird.

In Anlehnung an die Sichtweise von Kinchin (2000), dass sich die Kompatibilität des Concept Mapping mit bereits beherrschten Lernstrategien auf eine erfolgreiche Wissensrepräsentation in CMs auswirkt, könnten die durchaus großen Vorerfahrungen im methodisch verwandten Mind Mapping in beiden Gruppen dazu geführt haben, das Denken und die Wissensrepräsentation in der reduzierten graphisch-verbalen Darstellungsweise als solche(s) zu unterstützen. In Anlehnung an Jüngst & Strittmatter (1995) lässt dies vermuten, dass u.U. eine gewisse Routine im Verstehen und selbstständigen Verwenden derartiger struktureller Darstellungstechniken vorgelegen hat.

Vorerfahrung Concept Mapping: Wie das Antwortverhalten zeigt, wird die Vorerfahrung gruppenübergreifend mehrheitlich mit wenig bis mittelmäßig deutlich geringer eingeschätzt als in Bezug auf das Mind Mapping. Dass ein Teil der Proband/innen dennoch angibt, über (geringe) Erfahrungen damit zu verfügen, könnte daran liegen, dass die Methode in den Bildungsstandards im Fach Geographie (DGfG 2012), in Schulbüchern für den Geographieunterricht in der Ober-/Kursstufe (vgl. u.a. Ernst Klett Verlag GmbH 2007b), in geographiedidaktischer Literatur (Haubrich 2006 vgl. Kapitel 2.2.5) und in der fachdidaktischen Literatur anderer Schulfächer wie z.B. Biologie (Großschedl 2009; Haugwitz & Sandmann 2009; Rous 2016), Chemie (Barke et al. 2015) oder Physik (Häußler 2015: 262; Girwidz 2015: 870) gleichfalls explizit genannt wird. Mögliche Einflüsse dieser KV sind wegen der Beeinflussung durch das Methodentraining nicht bestimmt worden.

7.3.2 Diskussion der KVs in Fragebogen B

Es folgt die Diskussion der situationalen Ausprägung der über Fragebogen B erhobenen KVs, für die die Bedeutung/Tragweite der mit ihnen verbundenen Effekte ebenfalls eingeschätzt wird.

CM_{vorw}-Konstruktion

Erlernen der Methode Concept Mapping: Ausgehend von einer geringen bis mittelmäßigen Vorerfahrung bezeichnet die Mehrheit beider Gruppen das Erlernen der Methode als (eher) einfach, wobei die UG dem insgesamt signifikant häufiger zustimmt. Das Antwortverhalten deckt sich mit den Erkenntnissen von Hardy & Stadelhofer (2006), wonach „*Lernende selbst nach einer kurzen Einführung und entsprechenden Erfahrungen mit CM in einer Sitzung die Strategie des Concept Mapping selbstständig anwenden*“ (ebd., S. 185) können. Dies könnte bei der UG möglicherweise damit zusammenhängen, dass die Proband/innen in dieser Gruppe wegen der höheren Stundenzahl in Erdkunde/GWG mit der Verwendung verwandter Darstellungsmethoden wie dem Mind Mapping aus dem Unterricht u.U. etwas vertrauter sind. Dass auch die VG das Erlernen als (eher) einfach bezeichnet, kann gemäß Hardy & Stadelhofer (2006) an der Einfachheit der Methode an sich liegen. Andererseits hat die Untersuchung von Stensvold & Wilson (1990) gezeigt, dass sich ein zu kurzes Üben der Methode nachteilig auf ihren Einsatz auswirken kann. Es ist zudem zwischen dem Erlernen der theoretischen Grundlagen auf der einen Seite und dem Erlernen der praktischen Anwendung auf der anderen Seite zu unterscheiden. Inwiefern sich das Antwortverhalten auf beide Aspekte bezieht, oder ggf. nur auf ersteren, ist zunächst unklar, kann aber durch nachfolgende Items (etwas) aufgehellt werden.

Einfache Konstruktion mit CmapTools: Da auf der technischen Ebene die Konstruktion mittels Software gruppenübergreifend von der Mehrheit als (eher) leicht bezeichnet wird, sollte diese, abgesehen von Einzelfällen, keine (allzu großen) technisch bedingten Komplikationen hervorgerufen haben.

Angemessenheit des verfügbaren Zeitrahmens: Die bereits in der Pilotierung eruierte und mehrheitlich bestätigte Angemessenheit (vgl. Kapitel 4.1) findet sich in beiden Gruppen wieder. Für jeweils (mehr als) die Hälfte der Proband/innen hat die Zeit völlig ausgereicht. Dass manche noch mehr Zeit benötigt hätten, könnte ein Hinweis darauf sein, dass u.U. eine (noch) bessere Leistung möglich gewesen wäre.

Das zu repräsentierende Thema gut kennen müssen: Über dieses Item ist die subjektive Bedeutung erfasst worden, die dem Vorwissen zum Braunkohleabbau beigemessen wird, um diesbezüglich eine im Aufgabenkontext angemessene CM zu konstruieren. Für die Mehrheit beider Gruppen ist es teilweise bis sehr wichtig, das Thema gut zu kennen. Inwiefern das Ausmaß des tatsächlich vorhandenen Vorwissens bei dieser Einschätzung eine Rolle gespielt hat, ist unklar – jedenfalls hat die UG trotz des von ihr als größer wahrgenommenen Vorwissens nicht signifikant anders geantwortet als die VG.

Interessantheit: Im getrimmten Mittel wurde die Konstruktion als eher interessant wahrgenommen. Ein attraktives Lernangebot bzw. ein attraktiver Lerngegenstand können Interesse und Motivation hervorrufen und zu einer besseren Leistung führen (Harackiewicz & Hullerman 2010; Schulz-Heidorf 2017) – insbesondere bei Vorwissensanknüpfung (Schulz-Heidorf 2017). In leistungsorientierten Situationen kann ein Erfolgs- oder Misserfolgsgefühl eintreten in Abhängigkeit zum Ausmaß des subjektiven Kompetenzerlebens (vgl. Nicholls 1984, 1989 in Williams & Gill 1995; Harackiewicz & Hullerman 2010). Der Zusammenhang zur Entwicklung von intrinsischem Interesse bzw. intrinsischer Motivation wird von Ryan & Deci (2000) geteilt. Die größere Interessantheit im Vergleich zu der ursprünglich geschlossseneren Concept-Mapping-Variante in der Pilotierung kann u.U. an der größeren Selbstbestimmtheit bei der offenen Wissensrepräsentation liegen (vgl. Kapitel 2.3.2.1 bzw. 4.3.1). Wie Ryan & Deci (2000) anführen, ist ein hohes Maß an subjektiver Selbstbestimmung bzw. Selbstständigkeit notwendig, um aus wahrgenommener Kompetenz bzw. Selbstwirksamkeit situational intrinsische Motivation zu schöpfen und zu internalisieren. Hierbei spielt das subjektive Verhältnis von Herausforderung und Können eine Rolle (Waterman 2005). Es ist daher möglich, dass, wie in Bernd et al. (2000: 32) beschrieben, seitens der Proband/innen mit größerer Interessantheit u.U. mit zunehmender Konstruktion von Konzepten/Sinneinheiten eine verstärkte inhaltliche Auseinandersetzung mit dem zu repräsentierenden System eingesetzt hat, die zu einer tieferen Elaboration des Systemvorwissens geführt hat. Weitere Einblicke hierzu geben die nachfolgend diskutierten KVs.

Bewusstwerdung von Wissenslücken: Nach Harackiewicz & Knogler (2017: 334/344f.) gilt der subjektive Nützlichkeitswert einer Aufgabe bzw. Tätigkeit als ein weiterer Anlass, aus dem heraus ein größeres Interesse, eine stärkere Beschäftigung, eine größere Ausdauer und schließlich eine bessere Leistung resultieren kann (vgl. Harackiewicz & Hullerman 2010); selbst wahrgenommene Nützlichkeit ist dabei ein stärkerer Antrieb. Es ist deshalb nach der subjektiven Nützlichkeit des Concept Mapping als Unterstützung gefragt worden, sich der eigenen Wissenslücken bewusst zu werden. Dass die Proband/innen beider Gruppen das Concept Mapping in dieser Hinsicht nur teilweise als nützlich wahrgenommen haben, kann durch die Übereinstimmung zum präferierten Lernstil[197] bzw. persönliche Neigung, systemisch zu denken (vgl. Frischknecht-Tobler et al. 2008: 21ff.; Seybold et al. 2008: 150), beeinflusst sein. Auch das individuelle Ausmaß des Systemvorwissens selbst kann als eine mögliche Erklärung dafür herangezogen werden. Allerdings ist es ebenso möglich, dass die Bewusstwerdung durch die Wahrnehmung eigener Einschränkungen bei der graphisch-verbalen Darstellung (siehe hierzu nachfolgend bei den Schwierigkeiten bei der Repräsentation) derart beeinflusst wurde, dass diese als die primäre Ursache für Lücken wahrgenommen wurden und nicht das lückenhafte Wissen selbst.

Sinnzusammenhänge zwischen Konzepten verstehen: Mit Blick auf den Nützlichkeitsaspekt gibt die Mehrheit beider Gruppen teilweise bis eher große Möglichkeiten an, die Sinnzusammenhänge zwischen den Konzepten nachvollziehen und verstehen zu können. Jedoch hat die UG sehr signifikant häufiger sehr viele und die VG (nur) sehr signifikant häufiger teilweise Anlässe dazu erlebt. Es ist zu

[197] Dies könnte beim Concept Mapping (v.a.) den assimilierenden und konvergierenden Lernstiltyp nach Kolb betreffen. Des Weiteren kann die Unterscheidung in Holisten und Serialisten bei Kinchin (2000) von Bedeutung sein.

vermuten, dass sich das differenzierte Antwortverhalten in den Kontext der im weiteren Verlauf erläuterten, unterschiedlich wahrgenommenen Schwierigkeiten bei der Konzeptverknüpfung eingliedert.

Eigenes Wissen zur Thematik repräsentieren können: Wenngleich die UG signifikant mehr Vorwissen angibt, äußern beide Gruppen gleichmäßig, dass das eigene Systemvorwissen mehrheitlich teilweise bis eher repräsentiert werden konnte. Möglicherweise ist dies das Ergebnis der Tatsache, dass beide Gruppen, wie in Kapitel 7.2 dargelegt, zu t_0 ein vergleichbares Systemvorwissen repräsentiert haben. Des Weiteren könnte die Überlagerung der Bedeutung des Vorwissens durch die Bedeutung der Art und Weise, wie gut das eigene Wissen graphisch-verbal repräsentiert werden konnte, relevant sein. Die nachfolgend diskutierten Schwierigkeiten sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung.

Schwierigkeiten bei der Konstruktion: Obwohl nur ein Startbegriff vorgegeben wurde, sind in beiden Gruppen nach eigener Auskunft bei jeweils rund 90% der Proband/innen (eher) keine Schwierigkeiten bei der Wissensrepräsentation aufgetreten. Ausgehend von der Erkenntnis von Hardy & Stadelhofer (2006), dass offenes Concept Mapping v.a. bei fehlenden methodischen Vorkenntnissen zu einer Überforderung und damit zu Schwierigkeiten führen kann (vgl. Kapitel 2.3.2), könnten das vorliegende Antwortverhalten auf das subjektiv (eher) einfache Erlernen der Methode (nach Methodentraining und Übung), die (eher) leichte Verwendung von CmapTools und die bereits bestehende Vertrautheit mit dem Mind Mapping zurückzuführen sein. Die relative Ähnlichkeit des Antwortverhaltens kann ebenso der Ausdruck des zu t_0 vergleichbar repräsentierten Systemwissens sein.

Schwierigkeiten bei der Erstellung von Konzepten: Bei einem genaueren Blick zeigt sich, dass spezifische Schwierigkeiten im Konzeptbereich in beiden Gruppen für die Mehrheit teilweise bis nicht aufgetreten sind. Dass jeweils fast 70% dieses Item (eher) verneinen, lässt darauf schließen, dass die (wegen der leichten Darstellung per einfachem Doppelklick technisch einfache) Repräsentation einzelner Begriffe keine allzu großen Komplikationen hervorgerufen hat; allerdings ist für 30% die Formulierung von Begriffen z.T. problematisch gewesen. Dies kann einerseits auf ein individuell begrenztes Vorwissen (vgl. u.a. Stensvold & Wilson 1990; Novak & Cañas 2008) zurückzuführen sein. Andererseits sind verbale Fähigkeiten/Kompetenzen hervorzuheben, die ebenso einen Einfluss ausüben (vgl. Kapitel 4.3.1). Wie Schau et al. (1997) in ihrer Studie festgestellt haben, sind CM-Leistungen zu einem starken Maße von individuellen Kommunikationsfähigkeiten u.a. im Bereich von Vokabular und Rechtschreibung abhängig[198] (vgl. Schau et al. 2001). Die generelle Bedeutung der Beherrschung verbaler Fähigkeiten/Kompetenzen für eine bereichsspezifisch (fachspezifisch) adäquate Kommunikation wird in Özcan (2012), Budke & Kuckuck (2017) sowie in den Bildungsstandards im Fach Geographie im Kompetenzbereich Kommunikation hervorgehoben (DGfG 2012: 22). Wie in Kapitel 2.3.2 dargestellt, sind Nesbit & Adesope (2006) zu der Erkenntnis gelangt, dass sich die geringe verbale Auslastung von CMs als vorteilhaft v.a. für Lernende mit geringeren verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen erweist. Ungeachtet dessen ist unter Rückgriff auf das Systemvorwissen die Auswahl eines systemrelevanten Begriffs eine kognitive Herausforderung für alle Proband/innen gewesen. Während jene mit großen verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen diese Herausforderung aufgrund ihres Vokabulars wahrscheinlich leichter bewältigen konnten, ist der Auswahlprozess für jene mit geringem Vokabular schwieriger gewesen.

Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten: Im Hinblick auf spezifische Schwierigkeiten im Bereich der Relationen ist zu erkennen, dass die Mehrheit beider Gruppen nur teilweise bis eher keine Probleme angibt, wobei seitens der VG insgesamt signifikant mehr Komplikationen geäußert wurden.

[198] In diesen Kontext gliedert sich die Feststellung von Cronin et al. (1982) aus Kapitel 2.3.2 ein, wonach Lernende i.d.R. dazu tendieren, einfache Begriffe anstelle wissenschaftlicher Termini oder quantitativer Angaben zu verwenden.

Da das Item auf die Konzeptverknüpfung ausgerichtet ist, lässt es sich inhaltlich jenen Auswertungsgrößen zuordnen, die die Leistung auf der Ebene der Sinneinheiten quantifizieren: S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ und S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$. Eine (stärkere) Ablehnung des Items sollte mit niedrigeren Werten bei diesen einhergehen. Da die VG sowohl im Mittel als auch in allen Dezilen des S-Wert$_{vorw\text{-}BEZ}$ höhere Werte zeigt, ist es möglicherweise der S-Wert$_{vorw\text{-}PRO}$, d.h. die Repräsentation der Systemprozesse in Form von Sinneinheiten, auf die sich die (stärkere) Ablehnung in der VG bezieht; hierauf könnten auch die zuvor geschilderten geringeren Anlässe für das Verständnis von Sinnzusammenhängen seitens der VG zurückzuführen sein. Inwiefern sich die Identifikation der Systemprozesse als solche und/oder die sich graphisch-verbale Repräsentation (Versprachlichungsaspekt) als größere Herausforderung für die VG dargestellt hat, kann nicht aufgeklärt werden.

Schwierigkeiten bei der Erstellung von Verbindungswörtern: Wie sich zeigt, werden diesbezügliche Schwierigkeiten in einer Spannweite von mehrheitlich eher vielen bis eher keinen genannt. Dies könnte auf ein individuell unterschiedliches Systemvorwissen zurückzuführen sein. In Anlehnung an Novak & Cañas (2008) ist die graphisch-verbale Repräsentation und hier insbesondere die Versprachlichung im Sinne der Auswahl eines geeigneten Verbindungswortes entscheidend für die Konstruktion von Sinneinheiten. Die Autoren stellen in diesem Zusammenhang eine Verbindung zu den Denkfähigkeiten auf den beiden höchsten kognitiven Anforderungsstufen in der Taxonomie von Bloom et al. (1956) bzw. der modifizierten Variante von Anderson et al. (2001) her, die von Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005) als higher-order thinking skills bezeichnet und als eine wichtige Einflussvariable gesehen werden (vgl. Kapitel 2.2.5). Im Vergleich zur Repräsentation von Konzepten und ihrer Verknüpfung könnten bei der inhaltlichen Spezifikation der Relationen folglich des Weiteren ebenso metakognitive Prozesse im Bereich der Selektion und Entscheidung für ein geeignetes Verb eine Rolle gespielt haben. Dass dieser Auswahl- und Entscheidungsprozess in beiden Gruppen nur bedingt gelungen zu sein scheint, wird durch Beobachtungen des Autors dieser Arbeit in der Intervention gestützt.

Zufriedenheit mit der CM$_{vorw}$: In beiden Gruppen wird die Zufriedenheit mehrheitlich als teilweise bis eher hoch bezeichnet. Nach Topala & Tomozii (2014) ist sie *„a "spontaneous experience" that accompanies an intrinsically motivated behavior*" (ebd., S. 382). In diesem Kontext ist die motivationale Gesamtsituation des Concept Mapping, d.h. die Übereinstimmung mit dem individuell präferierten Lernstil und die subjektive Nützlichkeit bzw. Interessantheit von Bedeutung. Zudem erscheint die balance of challenges and skills bei Waterman (2005) ebenso relevant: Ausgehend vom individuellen Umgang mit den externen Rahmenbedingungen (Vertrautheit mit bzw. Beherrschung von CmapTools, benötigte Konstruktionszeit) sowie dem individuellen Vorwissensstand, den individuellen verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen und den individuellen Denkfähigkeiten auf höheren kognitiven Anforderungsstufen hat die Konstruktion jeweils ein individuelles Anforderungsniveau besessen, mit der Folge, dass dieses im Verhältnis zur Ausprägung der o.g. Aspekte zu niedrig, genau richtig oder zu hoch gewesen ist. Während in Bezug auf die ersten beiden Fälle in Anlehnung an Nicholls (1984, 1989 in Williams & Gill 1995) und Waterman (2005) zu erwarten ist, dass das Systemvorwissen durchaus getreu repräsentiert und dabei Kompetenz wahrgenommen werden konnte (Erfolgserlebnis), ist für den letzten Fall (eher) das Gegenteil zu erwarten (Misserfolgsgefühl). Bezogen auf die Konstruktion sollte dies in den ersten beiden Fällen zu einer (eher) großen Zufriedenheit geführt haben, wohingegen für den letzten Fall eine (eher) geringe Zufriedenheit mit der eigenen Leistung zu erwarten ist. Obschon insgesamt eher eine positive Tendenz vorliegt, geben jeweils rund ein Drittel der Proband/innen an, mit der CM$_{vorw}$ weder zufrieden, noch unzufrieden zu sein. Vor dem o.g. Hintergrund würde dies darauf schließen lassen, dass die CM$_{vorw}$ bei den zufriedenen Proband/innen das vorhandene Systemvorwissen in seinem Umfang (Quantität) und in seiner Struktur (Qualität) möglicherweise getreu abbildet.

Wegen des ausbleibenden Haupteffekts findet sich jedoch keine empirische Bestätigung hierfür. Folglich sind weitere Einflussfaktoren in Betracht zu ziehen, zu denen z.B. das subjektive Abschneiden gegenüber anderen Proband/innen oder eine subjektive Fehleinschätzung zählen können.

7.3.3 Diskussion der KVs in Fragebogen C und aufgedeckte Effekte

Die situationale Ausprägung der über Fragebogen C erhobenen KVs wird nachfolgend itemweise diskutiert und es wird die Bedeutung/Tragweite der mit ihnen verbundenen Effekte eingeschätzt.

Visuelle Auswertung

Interesse/*Vergnügen*: Vor dem Hintergrund des allgemein großen dispositionalen Interesses an Luft- und Satellitenbildern, das mitunter sogar größer als bei Karten ist (vgl. Kapitel 2.4.1), hat sich im Rahmen der Intervention gezeigt, dass die Proband/innen der UG im getrimmten Mittel ein hochsignifikant größeres Interesse/Vergnügen geäußert haben als die der VG. Wie die Regressionslinien bei *runmean2g* zeigen, haben bei der UG die Proband/innen mit einem geringen Interesse bzw. Vergnügen einen höheren K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ als diejenigen mit einem hohen Index-Wert – auch wenn der absolute Unterschied nur wenige Punkte betrifft. Im Vergleich dazu zeigt sich bei der VG, bei der die Punktezahlen jeweils geringer sind, kaum eine (nennenswerte) Auswirkung durch ein zunehmendes Interesse. Eine bedeutsame Auswirkung dieser Variable auf die Leistung ist beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ somit sowohl in beiden Gruppen als auch in ihrem direkten Verhältnis zueinander nicht zu erkennen[199]. Beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ liegt hingegen bei der UG wie bei der VG ein solcher Zusammenhang vor, da hier ein zunehmendes Interesse jeweils mit einem zunehmend höheren S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ verbunden ist; der durchweg höhere S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ seitens der UG ist dabei nicht signifikant. Inhaltlich erklärt werden kann dies möglicherweise mit der größeren Herausforderung der visuellen Erschließung und anschließenden Konstruktion von Sinneinheiten (S-Wert$_{D\text{-}PRO}$) gegenüber Konzepten (K-Wert$_{D\text{-}ELE}$), die im Falle einer erfolgreichen Erschließung und Konstruktion zu einer vergleichsweise größeren Wahrnehmung von eigener Kompetenz geführt haben könnte. Wegen der statistischen Abhängigkeit des als Kovariate verwendeten Skalenindex ist jedoch Vorsicht walten zu lassen in Bezug auf die o.g. Zusammenhänge.

Anstrengung/*Wichtigkeit*: Gemäß Nicholls (1984, 1989 in Williams & Gill 1995), Ryan & Deci (2000), Waterman (2005), Harackiewicz & Hullerman (2010) und Schulz-Heidorf (2017) ist davon auszugehen, dass aus dem hoch signifikant größeren situationalen Interesse seitens der UG die im getrimmten Mittel signifikant größere Anstrengung/Wichtigkeit bei der gleichen Gruppe hervorgegangen ist, wobei jegliche Erklärungsansätze mit Vorsicht zu betrachten sind wegen der statistischen Abhängigkeit des als Kovariate verwendeten Skalenindex. Es ist anzunehmen, dass sich die o.g. Gruppendifferenz auf die Leistung übertragen hat: Je mehr sich die Proband/innen der UG angestrengt haben bzw. je wichtiger die Auswertung für sie gewesen ist, umso mehr Punkte scheinen sie beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht zu haben. Bei der VG ist hingegen weder der K-Wert$_{D\text{-}ELE}$, noch der S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ mit einer zunehmenden Anstrengung/Wichtigkeit gestiegen. Die dadurch anwachsende Differenz zwischen den beiden Gruppen ist gemäß *ancova* bei beiden Auswertungsgrößen erst nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr signifikant. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass sich die UG gegenüber der VG mehr angestrengt und tiefer mit dem Arbeitsmedium auseinandergesetzt haben könnte. Bezüglich des Umstands, dass diejenigen in der VG, die angeben, sich angestrengt zu haben, nicht oder nur minimal mehr Punkte

[199] Ausgehend von einem allgemein geringeren dispositionalen Interesse an Karten (vgl. Kapitel 2.4.1) könnte der durchweg niedrigere K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bei der VG mit dem geringeren situationalen Interesse/Vergnügen in Verbindung stehen, das u.U. auf die in Kapitel 3.3.2 aufgeführten Eigenschaften der topographischen Karten (v.a. wenig ästhetisch-emotional ansprechend und Gefahr des flüchtigen Blicks) zurückzuführen ist.

erreichen konnten, als diejenigen, die sich (eher) nicht angestrengten, kann eventuell mit einer Anstrengung ohne bzw. mit nur geringem Erfolg, z.B. wegen mangelnden Systemvorwissens, zu erklären sein.

Wahrgenommene Kompetenz: Das im getrimmten Mittel gegenüber der leicht negativen Ausprägung bei der VG leicht positive Kompetenzerleben seitens der UG lässt sich nach Ryan & Deci (2000) mit dem größerem situationalen Interesse und der größeren Anstrengung/Wichtigkeit in Verbindung bringen. Es liegt hier – trotz nicht signifikant unterschiedlichem Antwortverhalten – eine differenzierte Wirkung vor: Bereits in einem Bereich geringeren Kompetenzerlebens haben die Proband/innen der UG im getrimmten Mittel mehr Punkte beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ sowie signifikant mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ als die der VG. Mit zunehmendem Kompetenzerleben steigen bei der UG der K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ und S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ an (bei ersterem setzt schließlich ein Abflachen ein), wohingegen der K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bei der VG trotz steigendem Kompetenzerleben konstant bleibt (ehe er bei einem größeren Erleben sogar abnimmt) und der S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ zunächst zunimmt, bevor er schließlich abflacht. Insbesondere beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ zeigt sich, dass die UG umso mehr Punkte gegenüber der VG erreicht hat, je größer das Kompetenzerleben gewesen ist. Bei einem Index-Wert von 3,3 ist die Differenz (sehr) signifikant. Während der Zusammenhang bei der UG nachvollziehbar ist, bleibt in Bezug auf die VG fraglich, warum kein Zusammenhang zwischen dem Kompetenzerleben und der Leistung besteht. Ausgehend von den empirischen Zusammenhängen könnte als Grund eine Überschätzung der eigenen Kompetenz bei jenen Proband/innen vorliegen, die von einer vergleichsweise hohen Kompetenzwahrnehmung berichten. Vielmehr erscheint es jedoch möglich, dass das insgesamt als geringer angegebene Systemvorwissen in dem Sinne eine Rolle gespielt haben könnte, dass die o.g. Proband/innen Karteninhalte selbst als systemrelevant identifiziert und dabei eigene Kompetenz erlebt haben, diese Inhalte jedoch nicht in die CM$_{vorw}$ integriert wurden. Durch die statistische Abhängigkeit des als Kovariate eingesetzten Skalenindex ist auch hier Vorsicht geboten in Bezug auf die o.g. Zusammenhänge.

Schwierigkeiten: Gegenüber der VG berichtet die UG im getrimmten Mittel von etwas weniger Komplikationen. Dass diese aufgetreten sind, kann neben dem insgesamt nur eher geringen bis mittelmäßigen Systemvorwissen in beiden Gruppen mit den im weiteren Verlauf näher erläuterten Problemen beim Denken in verschiedenen Relationsarten in Verbindung stehen und dann aufgetreten sein, als z.T. erfolglos versucht wurde, im Kontext des Concept Mapping und der Aufgaben nach visuellen Anhaltspunkten für Konzepte/Sinneinheiten auf den Bildern bzw. in den Karten zu suchen. Die leicht geringeren Schwierigkeiten in der UG können möglicherweise die Folge einer in Abhängigkeit zum Systemvorwissen vertiefteren Auseinandersetzung (größere Anstrengung) mit den Luft- und Satellitenbildern sein[200]. Es ist ein differenzierter Effekt zwischen den Gruppen bei beiden Auswertungsgrößen feststellbar, demzufolge die UG (beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ erst oberhalb eines Index-Werts von 2,0) umso mehr Punkte gegenüber der VG erreicht hat, je weniger Schwierigkeiten wahrgenommen wurden[201]. Zurückzuführen ist diese Differenz auf die kontinuierliche Punktezunahme in der UG und die Punkteabnahme beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bzw. die nahezu konstante Punktezahl beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ in der VG. Obschon die Ergebnisse auch hier wegen der statistischen Abhängigkeit des Skalenindex als Kovariate grundsätzlich mit Vorsicht zu betrachten sind, bedarf es einer Erklärung für diesen gruppenspezifischen Unterschied:

[200] Die Bedeutung des Vorwissens (in Verbindung mit repräsentationsspezifischem Wissen) ist in der Intervention bei der UG u.a. in dem Zusammenhang deutlich geworden, als Proband/innen (trotz des Interventionsthemas und Aufgabe 2) das aus dem hochaufgelösten Luftbild abgebildete Braunkohlekraftwerk für eine Fabrik bzw. ein Atomkraftwerk hielten.

[201] Seitens der UG hat sich in diesem Zusammenhang herausgestellt, dass die von Neumann-Mayer (2005) in Kapitel 2.4.2.2 angesprochenen Probleme beim Bildlesen bei jüngeren Lernenden auch bei einigen Proband/innen der UG im Bereich der Farbe Pink (offene Tagebauflächen) zu Nachfragen geführt haben. Mithilfe der Echtfarbenbilder konnten die Bildinhalte dann jedoch selbstständig korrekt identifiziert werden.

Ungeachtet der Einflüsse beim kognitiven Transfer in die CM, die in die Ausprägung der Auswertungsgrößen mit eingegangen sind, ist theoretisch zu erwarten, dass bei einer Auswertung mit weniger Schwierigkeiten mehr Systemelemente/-prozesse identifiziert und repräsentiert werden können. Dieser Zusammenhang im Sinne eines Haupteffekts zeigt sich bei der UG. Dass bei der VG umgekehrt Proband/innen, die von geringeren Schwierigkeiten berichten, weniger Punkte aufweisen, kann mit der zuvor genannten unzutreffenden Kompetenzwahrnehmung zusammenhängen. Auffällig ist, dass dieses Phänomen die gesamte VG betrifft.

Sich die raumzeitliche Dynamik des Braunkohleabbaus sehr gut vorstellen können: Im Rahmen des Bild- bzw. Kartenvergleichs hat sich die Mehrheit beider Gruppen teilweise bis eher die raumzeitliche Dynamik sehr gut vorstellen können. Dass die UG insgesamt sehr signifikant häufiger zustimmt (ohne Effekt), kann möglicherweise auf das hochaufgelöste Luftbild (Orthofoto) zurückzuführen sein, das eine realistische Raumwahrnehmung ermöglicht. Dieses könnte beim Bildvergleich mit den weniger aufgelösten Landsat-Satellitenbildern im Rahmen von Aufgabe 3 dazu beigetragen haben, dass die Proband/innen der UG ein signifikant stärkeres Gefühl hatten, die raumzeitliche Dynamik am Beispiel des Tagebaus Inden besser wahrzunehmen, als die Proband/innen der VG beim Vergleich der DGK 5 mit den beiden TK 100.

Sich die raumzeitlichen Veränderungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen können: Die Mehrheit beider Gruppen hat sich teilweise bis eher die raumzeitlichen Veränderungen im ökonomischen Bereich sehr gut vorstellen können. Auffällig ist, dass die UG insgesamt sehr signifikant häufiger davon berichtet (ohne Effekt). Dieser Umstand kann ebenso mit der zuvor geschilderten Bedeutung des hochaufgelösten Luftbildes in Verbindung stehen. Im Hinblick auf Zusammenhänge mit der Leistung besteht beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ kein eindeutiger Trend über alle Antwortkategorien hinweg.

Sich die raumzeitlichen Veränderungen im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen können: Anhand der visuellen Auswertung konnten sich die Proband/innen beider Gruppen mehrheitlich (eher) die raumzeitlichen Veränderungen im ökologischen Bereich sehr gut vorstellen. Dies kann mit der größeren Anzahl und guten Wahrnehmbarkeit der umweltbezogenen Bild- bzw. Karteninhalte verbunden sein: beim hochaufgelösten Luftbild sind Wälder, Flüsse, Seen, Felder, Wiesen etc. äußerst detailreich wahrnehmbar, während bei der TK 100 bekannte Signaturen(-farben) für Wälder (grüne Flächen) und Gewässer (blaue Linien bzw. Flächen) Verwendung finden. Im Rahmen des Haupteffekts beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ zeigt sich über alle Antwortkategorien hinweg jedoch kein eindeutiger Trend.

Sich die raumzeitlichen Veränderungen im Bereich Gesellschaft sehr gut vorstellen können: Mittels der visuellen Auswertung konnten sich beide Gruppen mehrheitlich teilweise bis eher die raumzeitlichen Veränderungen im gesellschaftlichen Bereich sehr gut vorstellen, wobei die UG dies insgesamt signifikant häufiger angibt (ohne Effekt). Grund hierfür kann, wie im ökonomischen Bereich, die Bedeutung des hochaufgelösten Luftbildes sein, das nicht die Wahrnehmung von Siedlungen als rote Flächensignaturen bzw. von Straßen als schwarze Linien ermöglicht, sondern einen hochaufgelösten Einblick in das reale Aussehen von Siedlungen mit der Größe, Lage etc. der einzelnen Gebäude darin oder den Verkehrszustand auf einer Landstraße bietet.

Hervorgehend aus den bis hierhin diskutierten KVs aus Fragebogen A und C wird unter Bezugnahme auf die in Kapitel 2.4 dargestellten Zusammenhänge der Ansatz einer generalisierenden Rekonstruktion des Ablaufs der visuellen Auswertung in der jeweiligen Testgruppe unternommen:

Mit Blick auf die UG kann es sein, dass vor dem Hintergrund des aus der Literatur bekannten, allgemein größeren dispositionalen Interesses an Luft- und Satellitenbildern die vorab erwarteten Neuigkeitseffekte bei einigen Proband/innen eingesetzt haben, weil die Vorerfahrung mit diesem Medium als

eher gering(er) angegeben wurde; es kann allerdings auch die in Kapitel 7.3.1 angesprochene Fehleinschätzung vorliegen. In der Folge könnten sich diese Effekte, zusammen mit der höheren Selbstwirksamkeit und u.U. verstärkt durch positive Wirkungen v.a. des hochaufgelösten Luftbildes, förderlich auf die situationale intrinsische Motivation ausgewirkt haben. Sollte dies der Fall gewesen sein, lässt sich hieraus eine positive Wirkung auf die Bereitschaft (Anstrengung) annehmen, sich mit den Luft- und Satellitenbildern intensiver systemanalytisch auseinanderzusetzen – nicht zuletzt auch infolge eines höheren Normalisierungsbedarfs wegen der z.T. unbekannten (nicht evidenten) Bildinhalte. In Anlehnung an das Ablaufschema von Weidenmann könnten die hochaufgelösten Bildinhalte mit ihren ikonischen Zeichen die Herstellung von Assoziationen zum Systemvorwissen[202] begünstigt haben (höhere Virulenz). In der Folge könnten intensivere Verstehensprozesse bzw. bessere mentale Vorstellungen, z.B. über die Veränderungen im ökonomischen und gesellschaftlichen Bereich, ausgelöst worden sein. Sie lassen auf eine tiefere Systemelaboration schließen und könnten die besseren Leistungen dieser Gruppe bei der CM_{vorw}-Modifikation erklären. Aus dem Normalisierungsbedarf und der Virulenz könnte eine positive Wirkung auf das eigene Kompetenzerleben hervorgegangen sein, da vorwissensbedingt ein besserer Zugriff auf die Bildinhalte ermöglicht wurde. Die u.a. durch diese Erfolgserlebnisse gestärkte, größere Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit den Bildern könnte es dann zugelassen haben, sich ausdauernder mit den nicht unmittelbar (wieder-)erkennbaren Bildinhalten auseinanderzusetzen und eine zeitintensive und größere kognitive Ressourcen beanspruchende iterative Ausschließung generell möglicher Inhalte im Sinne der convergence of evidence durchzuführen. Insgesamt könnte dies dazu geführt haben, dass im getrimmten Mittel weniger Schwierigkeiten und umgekehrt ein etwas größeres Gefühl von eigener Kompetenz wahrgenommen wurden; Letzteres könnte umso mehr von Bedeutung sein, je weniger bekannt Bildinhalte vorab gewesen sind, die dann (doch) erschlossen werden konnten[203]. Es ist anzunehmen, dass hieraus eine positive Rückwirkung auf die Anstrengung und die situationale intrinsische Motivation hervorgegangen ist, die die Bereitschaft zur weiteren Auseinandersetzung aufrechterhalten hat, bis der Normalisierungsbedarf schließlich abgenommen bzw. das Interesse an der Bildauswertung (z.B. konzentrationsbedingt) nachgelassen hat. Es könnte somit insgesamt ein sich selbst aufrechterhaltender Effekt eingetreten sein.

Bezüglich der VG sind zwei Ablaufvarianten vorstellbar:

Einerseits kann es vor dem Hintergrund des aus der Literatur bekannten, allgemein geringeren dispositionalen Interesses an Karten, das möglicherweise auch für die Proband/innen dieser Gruppe zugetroffen hat, sein, dass die topographischen Karten als Teil der insgesamt gewohnteren Karten wahrgenommen wurden. Zusammen mit ihrem ästhetisch-emotional weniger ansprechenden Wesen und dem Gefühl der Bekanntheit könnten sie u.U. von Anfang an als weniger situational intrinsisch motivierend wahrgenommen worden sein. Hieraus könnte eine geringere Bereitschaft hervorgegangen sein, sich bei der Auswertung anzustrengen; auch die vermeintliche subjektive Bekanntheit von Karteninhalten, die ggf. zu einem flüchtigen Blick (z.B. die beobachtete rein visuelle Entschlüsselung der Signatur für Windräder als Flugzeuge bzw. Flugplätze) geführt hat, könnte hier hineingespielt haben Die von Beginn an geringere Bereitschaft (Anstrengung) könnte im Kontext des Ablaufschemas von Weidenmann dazu geführt haben, dass weniger Assoziationen zwischen den abstrakt-geometrischen Signaturen (auch bei der großmaßstäbigen DGK 5) und dem Systemvorwissen hergestellt werden

[202] Da kein moderierender Effekt zu erkennen ist, bleibt schlussendlich offen, ob die UG mit einem größeren Systemvorwissen in die Intervention hineingegangen ist oder ob möglicherweise (auch bei der VG) eine Fehleinschätzung im Sinne einer nicht zur Selbsteinschätzung passenden Leistung vorliegt. Die Bedeutung dieser Variable ist daher nicht eindeutig.

[203] Zu beachten ist an dieser Stelle, dass neben den richtig identifizierten Sachverhalten auch falsche in die subjektive Kompetenzwahrnehmung mit eingegangen sein können.

konnten (geringere Virulenz) und/oder weniger kognitive Ressourcen dafür eingesetzt wurden. In der Folge könnten Verstehensprozesse und mentale Vorstellungen, z.B. über die Veränderungen im ökonomischen bzw. gesellschaftlichen Bereich, seltener eingesetzt haben. Dies könnte zu den größeren Auswertungsschwierigkeiten geführt haben, die die schlechteren Leistungen bei der CM_{vorw}-Modifikation ein Stück weit erklären würden und seltener Raum für eigenes Kompetenzerleben[204] geboten haben. Dass dieses dennoch wahrgenommen wurde, könnte mit der (subjektiv) erfolgreichen Decodierung von individuell weniger bekannten Signaturen der topographischen Karten in Verbindung stehen, bzw. mit der (subjektiv) erfolgreichen Erschließung von Systeminformationen.

Andererseits kann es sein, dass trotz des aus der Literatur bekannten, allgemein geringeren dispositionalen Interesses an Karten die (unter Anleitung) selbstständige visuelle Auswertung der topographischen Karten unter dem Gesichtspunkt der Systemanalyse in einem außerschulischen Umfeld mit Forschungscharakter auf ein anfänglich durchaus großes Interesse bei den Proband/innen gestoßen ist. Die initiale Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit den dann doch für viele möglicherweise weniger gewohnten topographischen Karten könnte im Rahmen des Ablaufschemas von Weidenmann mit der Zeit deshalb abgenommen und sich auf einem geringeren Niveau eingependelt haben, weil es weniger gelungen ist, Assoziationen zwischen Systemvorwissen und den Karteninhalten herzustellen (geringere Virulenz). In der Folge könnten auch hier weniger Verstehensprozesse und mentale Vorstellungen eingetreten und umgekehrt größere Schwierigkeiten aufgetreten sein, die die Wahrnehmung von eigener Kompetenz erschwert haben. Dass diese dennoch eingesetzt hat, könnte auch hier auf die (subjektiv) erfolgreiche Decodierung individuell weniger bekannter Signaturen bzw. auf die (subjektiv) erfolgreiche Erschließung von Systeminformationen zurückzuführen sein.

CM_{vorw}-Modifikation

Einfachheit mit CmapTools: Im Vergleich zur (eher) einfachen Konstruktion hat die Mehrheit beider Gruppen die Modifikation mittels CmapTools als teilweise bis eher einfach erlebt. Da jeweils rund 30% mit »Teils, teils« geantwortet haben, lässt dies darauf schließen, dass durchaus technisch bedingte Komplikation aufgetreten sein könnten. Inwiefern inhaltliche bzw. verbale Komplikationen bei der Integration von neuen Systeminformationen (Assimilation) bzw. bei der Anpassung und Korrektur des bestehenden Systemwissens (Akkomodation) in die Einschätzung mit eingegangen sind, bleibt ungeklärt. Es besteht ein statistischer Trend, demzufolge eine einfachere Modifikation seitens der Software mit mehr Punkten beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ und S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ verknüpft ist.

Angemessenheit des Zeitrahmens: Diesbezüglich ist zu erkennen, dass jeweils rund ein Drittel den Zeitrahmen als zu lang empfunden hat, während er für jeweils rund 40% ausreichend war; je rund 20% geben an, noch bis zu 10 Minuten mehr zu benötigen. Ein eindeutiger Trend beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ über alle Antwortkategorien hinweg liegt nicht vor. Verglichen mit den 11% in der Pilotierung ist die Modifikationszeit in der Haupterhebung folglich wesentlich häufiger als zu lang bewertet worden. Umgekehrt ist zu beachten, dass jede fünfte Probandin bzw. jeder fünfte Proband u.U. zeitlich nicht dazu kam, die erschlossenen Systeminformationen angemessen in die CM_{vorw} zu integrieren. Die Leistung dieser Proband/innen hätte u.U. besser ausfallen können.

Freude: Beide Gruppen geben mehrheitlich teilweise bis eher viel Freude zu erkennen. Nach Waterman (2005) geht Freude mit intrinsischer Motivation einher, lässt sich jedoch in eine Freude im hedonistischen Sinne (Spaß/Vergnügen) auf der einen Seite und in eine Freude im Sinne innerer Glückseligkeit (Eudämonie) als Ausdruck von persönlicher Selbstrealisierung (z.B. im Kontext einer Aufgabe/Tätigkeit)

[204] Teilweise kann es hier zu einer Überschätzung des eigenen Kompetenzerlebens gekommen sein.

auf der anderen Seite unterscheiden. Auch wenn das Item im hedonistischen Sinne formuliert ist, kann es sein, dass manche Proband/innen die Modifikation als eine Möglichkeit zum Ausdruck ihrer Selbst, z.B. ihrer abstrakt-strukturierten Art und Weise zu denken, gesehen haben. Dies kann v.a. dann zutreffen, wenn das Concept Mapping ihrem präferierten Lernstil entsprochen hat; unterstützt wird diese Annahme durch Beobachtungen von Proband/innen, die die Modifikation sehr gewissenhaft und hochkonzentriert durchgeführt haben. Betreffen könnte dies einen Teil der 10,2% der Proband/innen in der UG bzw. der 11,1% in der VG, die eine große Freude angeben. Da diese im Kontext von Selbstrealisierung nach Waterman (2005) mit großer Anstrengung einhergeht, was für Freude im hedonistischen Sinne (i.d.R.) nicht der Fall ist, lässt sich davon ausgehen, dass die o.g. Proband/innen auch bei den nachfolgenden Items positiv geantwortet haben sollten. Bezüglich jenen mit geringer Freude ist zu beachten, dass diese möglicherweise bereits von Beginn an (dispositional) weniger bis ggf. keine Freude im Sinne von Spaß an der Modifikation empfunden haben[205], oder dass die im weiteren Verlauf dargestellten Schwierigkeiten bei der Modifikation (situational) negativ auf den Spaß-Faktor eingewirkt und diesen mit der Zeit reduziert haben.

Absorbiertheit durch Faszination: Dass die Mehrheit beider Gruppen (eher) nicht durch eine Faszination an der Modifikation vereinnahmt wurde, ist in Kapitel 6.2.3.6 mit dem Umstand erklärt worden, dass die Formulierung von vielen als zu übertrieben bezeichnet wurde. Dies wiederum könnte ein Beleg dafür sein, dass Freude überwiegend im hedonistischen Sinne bestanden hat. Die 3,1% (UG) bzw. 2,8 (VG), die dennoch von einer hohen Absorbiertheit berichten, sollten sich in den 10,2% (UG) bzw. 11,1% (VG) mit sehr viel Freude (im Sinne von Eudämonie) wiederfinden.

Langeweile: Hervorgehend aus der mittleren bis eher großen Freude sollten sich jeweils die meisten bei der Modifikation teilweise bis eher nicht gelangweilt haben. Diejenigen, die von einer (eher) großen Langeweile berichten, sind wahrscheinlich auch diejenigen, die dispositional oder situational bedingt weniger bzw. keine Freude (Spaß) erlebt haben. Umgekehrt könnten die 4,7% (UG) bzw. 2,8% (VG) mit überhaupt keiner Langeweile genau diejenigen sein, die Eudämonie erlebt haben. Der beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ bestehende Haupteffekt zeigt über alle Antwortkategorien hinweg keinen eindeutigen Trend.

Große Mühe: Dass die Mehrheit in beiden Gruppen teilweise bis eher keine großen Mühe angibt, lässt vermuten, dass bei einer größeren Anstrengung u.U. eine bessere Leistung möglich gewesen wäre. Angesichts der vorangegangenen Items kann es in Anlehnung an Waterman (2005) sein, dass gerade bei jenen Proband/innen mit geringer Freude im hedonistischen Sinne keine bessere Leistung möglich bzw. zu erwarten ist, da die Modifikation (und möglicherweise das Concept Mapping insgesamt) aus den beim Item zur Freude genannten Gründen als keine Aufgabe/Tätigkeit wahrgenommen wird, in die größere Mühe investiert würde. Andererseits ist zu bedenken, dass neben diesem dispositionalen Grund auch die im weiteren Verlauf diskutierten Schwierigkeiten bei der Modifikation bei einigen Proband/innen dazu geführt haben können, die anfängliche Mühe situational zu reduzieren. Bei diesen Proband/innen wäre u.U. eine bessere Leistung möglich gewesen. Ein eindeutiger Trend beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ über alle Antwortkategorien hinweg ist nicht zu erkennen.

Wissenslücken in der CM$_{vorw}$ schließen können: Die Wissenslücken in der CM$_{vorw}$ zu schließen, erfordert zum einen die bild- bzw. kartenbasierte Identifikation von systemrelevanten Informationen und deren stimmige Integration in das eigene Systemmodell bzw. -wissen. Zum anderen ist es erforderlich, die Informationen als neue Konzepte/Sinneinheiten adäquat in die CM$_{vorw}$ einzuarbeiten (Assimilation) bzw. diese entsprechend daran anzupassen (Akkomodation). Nach Selbstauskunft der Proband/innen

[205] Dies kann z.B. dann der Fall sein, wenn Concept Mapping als keine subjektiv interessante/nützliche Methode angesehen wird und/oder wenn diese nicht dem eigenen Lernstil bzw. den eigenen Lernvorlieben entspricht.

hat die Mehrheit beider Gruppen die Modifikation teilweise bis eher dazu nutzen können, die eigenen Wissenslücken zu schließen. Vor dem Hintergrund der Reaktivität des Concept Mapping bleibt in diesem Kontext unaufgeklärt, wie hoch einerseits der Anteil an Wissenslücken ist, die explizit durch bild- bzw. kartenbasierte Primär- bis Tertiärinformationen geschlossen wurden, und wie hoch andererseits der Anteil ist, der ausschließlich durch die Auseinandersetzung mit den bereits repräsentierten Inhalten/Strukturen geschlossen wurde[206]. Während beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ kein eindeutiger Trend über alle Antwortkategorien hinweg vorliegt, ist beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ ein statistischer Trend zu erkennen, demzufolge in beiden Gruppen umso mehr Punkte erreicht wurden, je mehr Lücken subjektiv geschlossen werden konnten (Haupteffekt). Da der Zeitrahmen für die Konstruktion mehrheitlich ausreichend bis zu lang war, deutet sich an, dass die Schließung bei den Meisten keine nachholende Tätigkeit gewesen ist[207], sondern ein Resultat der Modifikation. Es ist zu vermuten, dass diejenigen, die Lücken schließen konnten, auch beim nachfolgenden Item positiv geantwortet haben.

Neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten erstellen können: Das Antwortverhalten bei diesem Item ist ähnlich dem vorangegangenen, weil auch hier die Mehrheit in beiden Gruppen teilweise bis eher zustimmt. Da allerdings kein eindeutiger Trend beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ über alle Antwortkategorien hinweg vorliegt, ist davon auszugehen, dass die einzelnen Proband/innen bei diesem Item jeweils (etwas) anders geantwortet haben. Grund hierfür kann der Fokus speziell auf die Lückenschließung per Konzeptverknüpfung (Relationsebene) sein, in deren Rahmen die nachfolgende Diskussion von Schwierigkeiten bei der Verknüpfung und Beschriftung von Bedeutung ist.

Schwierigkeiten: Wie in Bezug auf die Konstruktion wird auch von den Proband/innen beider Gruppen mehrheitlich von (eher) keinen Schwierigkeiten bei der Modifikation berichtet. Generell sind in beiden Gruppen umso mehr Punkte beim S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erreicht worden, je problemloser die Modifikation verlaufen ist. Kein eindeutiger Trend über alle Antwortkategorien hinweg liegt beim K-Wert$_{D\text{-}ELE}$ vor. Der Umstand, dass bei der Modifikation bei einigen Proband/innen mehr Schwierigkeiten aufgetreten sind, kann im Zuge der nachfolgenden Diskussion (etwas) aufgehellt werden.

Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Systeminformationen als Konzepte: Vergleichbar zur Konstruktion werden bezogen auf die Modifikation in beiden Gruppen mehrheitlich teilweise bis eher keine Schwierigkeiten im Konzeptbereich genannt. Da Systemelemente wie Kraftwerk, Energie, Arbeiter etc. vergleichsweise einfach als Konzepte integriert werden können, sollten sich die genannten Komplikationen eher auf die Repräsentation von Systemprozessen beziehen. Hierfür bedarf es erneut neben einem ausreichenden Systemvorwissen (als Andockstellen) gleichfalls eines entsprechenden Vokabulars für die adäquate Versprachlichung (verbale Fähigkeiten/Kompetenzen), aus dem es einen zutreffenden Begriff auszuwählen gilt (höhere kognitive Denkfähigkeiten). Es bleibt zu vermuten, dass die angedeuteten Schwierigkeiten auf die o.g. Aspekte zurückführen sind. Ein eindeutiger Zusammenhang über alle Antwortkategorien hinweg lässt weder der K-Wert$_{D\text{-}ELE}$, noch der S-Wert$_{D\text{-}PRO}$ erkennen.

Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten anhand von Systeminformationen: Wie bei der Konstruktion geben beide Gruppen mehrheitlich teilweise bis eher keine Schwierigkeiten bei der Konzeptverknüpfung an. Dass diese bei jeweils über 40% der Proband/innen teilweise bis eher stark aufgetreten sind, kann an den in der Intervention wiederholt beobachteten Problemen gelegen haben,

[206] Bezüglich der in der CM$_{vorw}$ konstruierten Inhalte/Strukturen ist in der Intervention durch Beobachtung deutlich geworden, dass zahlreiche Proband/innen eher selten ihre Inhalte/Strukturen mit den Luft- und Satellitenbildern (topographischen Karten) abglichen, d.h. nach einer visuellen Bestätigung auf der Basis bild-/kartenbasierter Indikatoren suchten. In der Folge sind z.T. falsche Inhalte/Strukturen unreflektiert beibehalten worden.

[207] Dies erscheint angesichts des zwischenzeitlichen Methodentrainings und der Pause zusätzlich unwahrscheinlich.

die visuell gewonnenen Systeminformationen in die graphisch-verbale Darstellungsweise der CM zu überführen. Neben der Herausforderung, eine angemessene Darstellungsweise auszuwählen, hat sich bereits das grundlegende Denken in Relationen bzw. in den verschiedenen Relationsarten aus Kapitel 2.3.2 im Kontext der visuellen Auswertung in beiden Gruppen als eine durchaus große Beanspruchung herausgestellt: Von Vielen ist die raumzeitliche Dynamik der Tagebaue richtig erkannt worden; auch der Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen oder Wäldern auf der Tagebauvorderseite sowie die Schaffung von Rekultivierungs-/Renaturierungsflächen auf der Tagebaurückseite wurde vielfach richtig festgestellt. Wie Beobachtungen des Autors dieser Arbeit in der Intervention vermuten lassen, konnten diese isolierten Wahrnehmungen von durchaus einigen Proband/innen anscheinend nicht gedanklich zusammengefasst und in einem Zusammenhang bzw. in einem Kausalitätsmodell gedacht werden. Sollte dem so gewesen sein, ist anzunehmen, dass in zahlreichen Fällen kein zusammenhängendes mentales Systemmodell aufgebaut wurde, sondern vielmehr isolierte Wissensfragmente gedanklich parallel erschlossen, verarbeitet und gespeichert wurden – u.U. als ein Resultat internalisierter Lernstrategien (vgl. hierzu in Raia 2005). Dies könnte erklären, warum bei der Inhaltsanalyse im Rahmen der CM-Auswertung zu erkennen gewesen ist, dass zahlreiche der o.g. Aspekte mit anderen Inhalten und Strukturen aus der CM und seltener untereinander verknüpft sind. Ausgehend von den Beobachtungen und den vorliegenden CMs lässt sich annehmen, dass die voneinander isolierten Wahrnehmungen auch als solche in die CM_{vorw} integriert wurden. Eine durchgehende Verknüpfung und elaborierte Darstellung in Form von Beziehungen und Prozessen (mit ihren Ursachen/Folgen) ist in zahlreichen CMs beider Gruppen möglicherweise aus diesem Grund nicht erfolgt. Es bleibt zu vermuten, dass – wie bei den Untersuchungen von Dickmann & Diekmann-Boubaker (2007), Herzig et al. (2007) und Diekmann-Boubaker (2010) – ein individuell unzureichendes Systemvorwissen ein Grund gewesen sein könnte (fehlende Andockstellen), das einschränkend gewirkt haben könnte. Des Weiteren können Einflüsse durch unzureichende Verbalisierung eine Rolle gespielt haben. Die Haupteffekte beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ zeigen über alle Antwortkategorien hinweg keinen eindeutigen Trend.

Schwierigkeiten bei der Erstellung von passenden Verbindungswörtern zur Beschreibung von verknüpften Konzepten anhand von Systeminformationen: Ähnlich zur Konstruktion sind von beiden Gruppen mehrheitlich eher viele bis eher keine Schwierigkeiten im Bereich der Auswahl passender Verbindungswörter angegeben worden. Wie bei der Spannweite in Bezug auf die Konstruktion sollten auch an dieser Stelle die gleichen Faktoren (v.a. Vorwissen, Denkfähigkeiten bzw. metakognitive Fähigkeiten und verbale Fähigkeiten/Kompetenzen) einen Einfluss darauf ausgeübt haben, wie gut es individuell gelungen ist, den wahrgenommenen Relationscharakter sprachlich auszudrücken.

CM_{mod} besser gelungen als die CM_{vorw}: Positiv zu bewerten ist, dass jeweils mehr als 70% in beiden Gruppen teilweise bis eher zustimmen, dass ihre CM_{mod} besser gelungen ist als die CM_{vorw}. Die große Mehrheit hält die CM_{mod} für teilweise bis viel besser gelungen. Dass bei beiden Auswertungsgrößen über alle Antwortkategorien hinweg kein eindeutiger statistischer Trend des Haupteffekts zu erkennen ist, kann damit zusammenhängen, dass subjektive Wahrnehmung und Leistung bei diesem Item nur bedingt (abgesehen von den Proband/innen mit »Trifft völlig zu«) übereinstimmen.

Zufriedenheit mit der CM_{mod}: Vor dem Hintergrund der motivationalen Situation bei der Modifikation (Übereinstimmung mit individuell präferiertem Lernstil, subjektive Nützlichkeit und Interessantheit) hat die Modifikation, hervorgehend v.a. aus dem individuellen Zeitbedarf, der individuellen Beherrschung von CmapTools, dem individuellen Vorwissen, den individuellen verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen und dem individuellen Erfolg bei der Erschließung von Systeminformationen und ihrer stimmigen Integration, ein individuelles Anforderungsniveau besessen. Im Verhältnis zur individuellen Ausprägung der o.g. Aspekte ist dieses Niveau gemäß der balance of challenges and skills von

Waterman (2005) auch in dieser Situation zu niedrig, genau richtig oder zu hoch gewesen und hat sich zusammen mit der motivationalen Gesamtlage auf die Zufriedenheit ausgewirkt. Wie bei der CM_{vorw} ist die Zufriedenheit mit der CM_{mod} mehrheitlich teilweise bis eher hoch. Die jeweils erreichte Punktezahl ist bei beiden Auswertungsgrößen allgemein umso höher, je größer die Zufriedenheit in beiden Gruppen ist. Angesichts der nicht durchweg hohen Zufriedenheit ist, wie bei der CM_{vorw}, davon auszugehen, dass von den Proband/innen mit geringerer Zufriedenheit das repräsentierte Systemwissen u.U. nicht dem visuell angeeigneten bzw. dem individuell vorliegenden entspricht.

7.4 Kritische Würdigung

Wie in Kapitel 3.2 angemerkt, erfolgt die Ausprägung der Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE situations-/kontextgebunden. Mit Blick auf die empirischen Ergebnisse bezüglich ihrer Ausprägung zu t_0 und t_1 bzw. bei *D* erfordert dieser Umstand eine kritische Auseinandersetzung mit dem Kontext, in dem das erhobene Systemwissen und in diesem Zusammenhang mental angewendeten Fähigkeiten externalisiert wurde(n). Es wird aus diesem Grund nachfolgend eine kritische Würdigung des gewählten forschungsmethodischen Operationalisierungsansatzes vorgenommen.

7.4.1 Kritische Würdigung des Forschungsdesigns und der Stichprobengewinnung

Die Erhebung des Systemwissens als Grundlage für einen Rückschluss auf die verschiedenen Fähigkeiten ist im Rahmen einer quasi-experimentellen Untersuchung mit zwei unabhängigen Testgruppen durchgeführt worden. Dieser Untersuchungscharakter rührt z.T. aus der intendierten Nähe zur Unterrichtspraxis (trotz des außerschulischen Umfeldes) und der anvisierten Balance zwischen den forschungsmethodischen Implikationen von Labor- und Felduntersuchungen her, um ein möglichst hinreichendes Maß an interner wie externer Validität zu gewährleisten. Wie in Kapitel 4 dargelegt, konnte eine gängige Maßnahme zur Erhöhung der internen Validität (eine VG ohne Intervention) nicht umgesetzt werden. Es liegen deshalb keine Erkenntnisse über die Entwicklung der Fähigkeiten bei Kursstufenschüler/innen ohne Interventionseinwirkung vor. Eine weitere Maßnahme zur Erhöhung der internen Validität stellen die verschiedenen Methodentrainings dar, die in Kapitel 7.4.2 kritisch betrachtet werden. Sie sind mit der Intention der Störvariablenkontrolle durchgeführt worden, u.a. um möglichst gleiche Ausgangsbedingungen zwischen den Testgruppen herzustellen. Als derartige Maßnahme gehen sie zugunsten von interner, jedoch zu Lasten von externer Validität (vgl. Kapitel 4). Mit der Erfassung jeder Fähigkeit als einzelne AV ist die interne Validität (weiter) erhöht worden. Des Weiteren ist auf die verschiedenen Maßnahmen/Vorkehrungen aus Kapitel 4.2.3 zu verweisen. Angesichts der o.g. Maßnahmen sollte insgesamt ein hinreichendes Maß an interner Validität vorliegen.

Sommer (2005) verweist auf die Widersprüchlichkeit von möglichst unter kontrollierten Bedingungen gewonnen Ergebnissen (interne Validität) auf der einen Seite und ihrer für die Unterrichtspraxis bedeutsamen Aussagekraft/Repräsentativität (externe Validität) auf der anderen Seite, die möglichst „*Gültigkeit für die schulische Realität mit ihrer Vielzahl an kaum kontrollierbaren Einflüssen haben*“ (ebd., S. 251) sollte. Als Maßnahmen zur Sicherung von speziell ökologischer Validität nennt die Autorin eine kriterienbasiert ausgewogene Auswahl an teilnehmenden Schulklassen sowie die Verwendung vorbereiteter Unterrichtsmaterialien. Beides ist in dieser Arbeit angestrebt worden. Allerdings kommt die Mehrheit der Proband/innen aus dem Großraum Heidelberg/Mannheim, weshalb sich die Ergebnisse streng genommen nur auf diese Proband/innen selbst und ggf. noch die teilnehmenden Schulen beziehen lassen. Da sich in diesen der Geographieunterricht nach dem baden-württembergischen Bildungsplan richtet, sollte davon ausgegangen werden können, dass sich die Erkenntnisse ein Stück weit auf alle baden-württembergischen Kursstufenschüler/innen mit vergleichbaren Merkmalen an

öffentlichen wie Privatgymnasien übertragen lassen (es haben Proband/innen aus beiden teilgenommen). Die externe Validität ist ebenfalls durch einen Teil der Maßnahmen/Vorkehrungen aus Kapitel 4.2.3 sicherzustellen beabsichtigt worden. Es ist dennoch in Anlehnung an die Experimentelle Reaktivität bei Bortz & Döring (2006) kritisch anzumerken, dass die Ergebnisse, trotz der möglichst unterrichtsnahen Gestaltung, in einem außerschulischen Umfeld zustande gekommen sind, weshalb u.U. nur eine eingeschränkte Aussagekraft für den Unterricht im Klassenzimmer vorliegt.

Auch die externalen Moderator-/Externalisationsvariablen aus Tabelle 21 sind zu berücksichtigen. Obschon dargelegt worden ist, inwiefern diese Berücksichtigung finden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass mit ihnen zusammenhängende, empirisch nicht erfasste Wirkungen im Bereich der visuellen Auswertung bzw. des Concept Mapping aufgetreten sein können.

7.4.2 Kritische Würdigung der Gestaltung der Interventionseinheit

Die gesamte Interventionseinheit ist derart konzipiert worden, dass beide Testgruppen weitestgehend identische Informationen, Materialien und Methodentrainings (bis auf das gruppenspezifische Arbeitsmedium) erhalten haben. Aus diesem Grund sollten mit Blick auf den durchgeführten Gruppenvergleich keine verzerrenden Wirkungen hervorgerufen worden sein.

Die Interventionseinheit ist in der Pilotierungsphase in Rücksprache mit den seinerzeit teilnehmenden Kursstufenschüler/innen und Lehrkräften optimiert und noch unterrichtsnäher ausgerichtet worden (vgl. Kapitel 4.1). Ungeachtet dessen, der möglichst optimalen Dauer der verschiedenen Arbeitsphasen und zwischenzeitlichen Pausen sowie dem möglichst optimalen Verhältnis der Aktions-/Rezeptionsphasen und der verschiedenen (Inter-)Aktionsformen geben Beobachtungen während der Durchführung Anlass zu der nachfolgenden kritischen Beleuchtung verschiedener Elemente und Bestandteile der Einheit, da diese u.U. auf die empirische Untersuchung eingewirkt haben können.

Mit insgesamt vier Stunden ist die Interventionseinheit als Ganzes von einigen Proband/innen (wie auch Lehrkräften) als durchaus langatmig wahrgenommen worden; ein empirisches Indiz hierfür ist u.a. das Antwortverhalten zur Angemessenheit des Zeitrahmens für die visuelle Auswertung und Modifikation, der von 31,5% (UG) bzw. 39,8% (VG) als zu lang bezeichnet wurde. Obschon die Phasen zeitlich so kurz wie möglich gestaltet sind, ließ sich der zeitliche Gesamtumfang angesichts der Vielfalt der Aktivitäten nicht (noch) weiter verkürzen. Wegen der Gesamtdauer können Ermüdungserscheinungen sowie u.U. auch negative Auswirkungen auf die Motivation mit ihren potenziellen Einwirkungen auf die Leistung nicht völlig ausgeschlossen werden. Auch soziale Interaktion, obwohl sie soweit wie möglich unterbunden wurde, lässt sich in einem Computerraum (wie in der Schule) nicht durchgängig eliminieren, weshalb diesbezügliche Effekte nicht vollends ausgeschlossen werden können.

Wie Friedrich & Mandl (1997: 254) bemerken, reagieren Lernende unterschiedlich auf Chancen zur Selbststeuerung in Lernumgebungen. Den Autoren zufolge bedarf es der Förderung einer diesbezüglichen Kompetenz durch gezieltes Training. In Bezug auf die Interventionseinheit ist folglich zu bedenken, dass die Proband/innen wahrscheinlich zu unterschiedlichen Graden mit den (teil-)offenen Aktivitäten zurechtkamen sind und dabei u.U. auch teilweise überfordert waren. Dies betrifft sowohl das offene Concept Mapping als auch die im Kern weitestgehend selbstständige Bild- bzw. Kartenarbeit (vgl. Kapitel 4.4.1.6). Offenes Concept Mapping und teil-offene visuelle Auswertung können in Anlehnung an Hardy & Stadelhofer (2006) dazu geführt haben, dass Proband/innen mit der selbstständigen systemischen Raumerschließung und/oder mit dem Transfer in die eigene CM_{vorw} überfordert waren. Mit Blick auf die Modifikation könnte dies gemäß den Autoren mangels ausreichender methodischer

Kenntnisse eine fehlende Aufmerksamkeitslenkung auf die zu repräsentierenden Aspekte hervorgerufen haben; ein Stück weit empirisch unterstützt wird dies durch die Abnahme des CM-SRG in der Intervention. Wie dargelegt, ist das offene Concept Mapping explizit ausgewählt worden, um das System(vor)wissen möglichst interindividuell sensitiv und valide zu erheben, während die teil-offene visuelle Auswertung insbesondere auch deshalb gewählt wurde, um die Bestimmung der absoluten Wirksamkeit nicht durch Vorgaben (zu sehr) zu beeinflussen. Trotz der Berücksichtigung des altersgemäßen Kompetenzentwicklungsstandes bei der Aufgabenformulierung und -strukturierung (vgl. Kapitel 4.4.2.3) deuten die empirischen Ergebnisse im Bereich der Dezile darauf hin, dass z.T. ein größerer interindividueller Leistungsunterschied bei der Modifikation aufgetreten ist (z.T. große Spannweite). Dieser kann zum einen als ein empirischer Beleg für eine natürliche Leistungsdifferenz und damit eine auf individueller Ebene sowohl geringere als auch höhere absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung verstanden werden. Zum anderen kann dieser allerdings auch als ein empirischer Hinweis darauf gesehen werden, dass möglicherweise nicht alle Proband/innen beim Concept Mapping bzw. bei der visuellen Auswertung gleich gut unterstützt bzw. angeleitet wurden. Nach Schulz-Heidorf (2017) lässt sich dies auf den hochindividuellen Charakter von Lernprozessen zurückführen, in die neben personalen Aspekten wie Einsichten, Überzeugungen, Neigungen, Interessen, Kompetenzen und Lernstrategien des Weiteren äußere Faktoren wie die Merkmale der Lernumgebung oder des Lernmaterials eingehen (vgl. Stensvold & Wilson 1990). Bezüglich äußerer Faktoren (auf die personalen wird v.a. in Kapitel 7.3 näher eingegangen) ist in Anlehnung an die Autorin die Schaffung von Lernarrangements bedeutsam, die individualisierte Lernprozesse ermöglichen, denen das entdeckende Lernen bzw. die Binnendifferenzierung konzeptionell nahe stehen. Angesichts des interindividuellen Leistungsunterschieds sowie vor dem Hintergrund der hohen Individualität von Lernprozessen hätten deshalb stärker binnendifferenzierte Aufgaben/Materialien u.U. dazu beitragen können, den individuell unterschiedlichen Voraussetzungen, Gewohnheiten, Interessen und Präferenzen der Proband/innen stärker entgegenzukommen (Uhlenwinkel 2008, 2012: 330ff.; Bahr 2013b; Wüthrich 2013; Bastian 2016; Schulz-Heidorf 2017). Gemäß Uhlenwinkel (2008, 2012: 335f.) lassen sich Concept Mapping und visuelle Auswertung bestimmten Typen verschiedener praxisbedeutsamer Lernstile zuordnen. In der Folge ist zu vermuten, dass Proband/innen, die einen bestimmten Stil präferieren, sich mehr oder weniger stark in der Intervention angesprochen gefühlt und sich in der Folge mehr oder weniger intensiv in die visuelle Auswertung eingebracht haben. Wie empirische Ergebnisse bei Tillmann (2014) zeigen, konnte allerdings kein systematischer Zusammenhang der Leistungserhebung per CM mit der individuellen Ausprägung in Lernstrategietests festgestellt werden. Allerdings konnte im Kontext des Lernstiltests nach der Theorie des erfahrungsbasierten Lernens von Kolb[208] ein Zusammenhang zwischen individuellen Neigungen zu einer abstrakten Begriffsbildung und dem Lernerfolg durch die Verwendung von graphisch-verbal reduzierten CMs identifiziert werden. Wie die o.g. Untersuchung erkennen lässt, können sich individuelle Lernstilpräferenzen daher folglich auf die Leistung beim Concept Mapping ausgewirkt haben; Gleiches ist auch in Bezug auf die visuelle Auswertung der Luft- und Satellitenbilder zu vermuten. Insofern sind die empirischen Ergebnisse und damit die gezeigte Anwendung der Fähigkeiten an dem Umstand zu relativieren, dass neben der (potenziellen) Beeinflussung durch zu einheitliche Aufgabenstellungen/Arbeitsmaterialien des Weiteren vor dem Hintergrund der natürlichen Heterogenität davon auszugehen ist, dass unter den Proband/innen verschiedene Lernstile bevorzugt wurden, die wahrscheinlich zu unterschiedlichen Graden durch das

[208] Nach Kolb lassen sich Lernpräferenzen in einen divergierenden Stil (konkrete Erfahrung und reflexive Beobachtung), einen assimilierenden Stil (reflexive Beobachtung und abstrakte Konzeptualisierung), einen konvergierenden Stil (abstrakte Konzeptualisierung und aktive Erprobung) und einen akkomodierenden Stil (konkrete Erfahrung und aktive Erprobung) unterscheiden (Uhlenwinkel 2012: 335f.; Tillmann 2014).

Concept Mapping bzw. die visuelle Auswertung angesprochen wurden. Empirische Hinweise hierzu sind in Kapitel 7.3.3 im Rahmen der Items zur CM_{vorw}-Modifikation diskutiert worden. Insgesamt könnte dies mit der Folge verbunden sein, dass die Leistung im Bereich der Fähigkeiten (Auswertungsgrößen) bei den entsprechenden Proband/innen hierdurch beeinträchtigt ist.

Wie in Kapitel 4.4.1.4 angemerkt, ist vor Konstruktionsbeginn mündlich mitgeteilt worden, relevante Ursachen, Prozesse und Folgen auf unterschiedlichen räumlichen Maßstabsebenen und in verschiedenen zeitlichen Dimensionen zu denken. Rückblickend ist kritisch zu hinterfragen, inwiefern eine einmalige mündliche Mitteilung die Proband/innen über 30 Minuten bei der Konstruktion dazu angehalten hat, auf diese Zusammenhänge zu achten. Unter Umständen hätten schriftliche Hinweise, die die ganze Zeit vorliegen, das Denken in raumzeitlichen Kategorien (etwas) stärker fördern können.

Am Ende des Methodentrainings zum Arbeitsmedium ist die Fenstermethode als Ansatz für eine strukturierte Auswertung kleinerer Bild- bzw. Kartenareale vorgestellt worden. Kritisch betrachtet hätte diese Methode möglicherweise erst nach der 10-minütigen Pause vorgestellt werden sollen, als die Proband/innen in die visuelle Auswertung eingestiegen sind.

Die Erschließung der Primär- bis Tertiärinformationen ist auf der Grundlage des vorgegebenen Mediums erfolgt. Im Zuge der vorwissensbeeinflussten Entscheidung über die Relevanz von Bild- bzw. Karteninhalten galt es jene Informationen herauszuselektieren, die nach individuellem Ermessen Systemrelevanz besitzen. Dieser inhaltliche Selektionsprozess ist von dem raumzeitlich verorteten Informationsangebot abhängig, das wiederum vom Bild- bzw. Kartenmaßstab, der Größe des betrachteten Erdraums sowie den vorgegebenen Zeitpunkten bzw. Bezugszeiträumen abhängt. Möglicherweise hat dies dazu geführt, dass der Selektionsprozess mental auf den betrachteten Erdraum und die verfügbaren Zeiten beschränkt geblieben ist und – als Erkenntnis aus der Inhaltsanalyse bei der CM-Auswertung – nur eingeschränkt ein raumzeitliches Denken darüber hinaus stimuliert hat. Mit Blick speziell auf den Bild- bzw. Kartenmaßstab ist in Kapitel 4.4.2.1 angemerkt worden, dass hochaufgelöste Satellitenbilder eine optimale Lösung darstellen würden, um einen detaillierten Einblick in die raumzeitliche Entwicklung zu ermöglichen. Auch von zahlreichen Proband/innen der UG sind hochaufgelöste Bilder für die Bearbeitung der bildbezogenen Aufgaben 3 und 4 gewünscht worden. Inwiefern sich der unerfüllte Wunsch auf die Motivation im Rahmen der Bearbeitung der o.g. Aufgaben ausgewirkt hat, ist nicht bekannt. Aus bildwissenschaftlicher wie fernerkundungsdidaktischer Sicht sollten hochaufgelöste Bilder die Wahrnehmung kleinräumiger Veränderungen besser unterstützen und sich über ihre lernförderlichen Eigenschaften positiv auf die Motivation auswirken und auf diesem Wege eine vertiefte Auseinandersetzung anregen können. Seitens der VG sind die für die Kartenauswertung notwendigen Kartenlegenden als PDF-Dateien zur Verfügung gestellt worden. Um die in Tabelle 21 angesprochene gleichzeitige Verfügbarkeit von Karte und Legende zu ermöglichen, ist die Split-Screen-Methode empfohlen worden (vgl. Kapitel 4.4.1.6). Inwiefern speziell durch diese parallele Betrachtung motivationale Einbußen ausgelöst wurden, bleibt ebenso unaufgeklärt.

Abschließend erfolgt eine kritische Betrachtung der einzelnen Methodentrainings:

Das erste Methodentraining zur Nachhaltigkeitsthematik ist mit der Absicht durchgeführt worden, die Proband/innen hinsichtlich des Concept Mapping und der visuellen Auswertung samt Modifikation mental auf das Denken in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen vorzubereiten. In beiden Gruppen ist das Antwortverhalten bezüglich der Erfahrungen mit der Nachhaltigkeitsthematik vergleichsweise symmetrisch ausgeprägt. Vor diesem Hintergrund könnte das Methodentraining für die Proband/innen mit wenig Vorwissen hilfreich gewesen sein, um mit der Thematik an sich und insbesondere den

drei Dimensionen vertraut zu werden. Darüber hinaus erscheint es auch weiterhin angebracht, das Methodentraining als mentale Rahmung und inhaltliche Orientierung umzusetzen.

Im Hinblick auf potenzielle Übertragungseffekte (carry-over-Effekte) im Bereich des Concept Mapping ist in Kapitel 4.2.3 argumentiert worden, dass über das diesbezügliche Methodentraining vor der CM_{vorw}-Konstruktion bereits von Beginn an eine grundlegende Vertrautheit mit der Methode zu erreichen beabsichtigt wird, um die Wirkung dieser Effekte zu minimieren. Wie die Items zur Konstruktion und Modifikation zeigen, haben die Proband/innen beider Gruppen retrospektiv die Schwierigkeiten bei der vorwissensbasierten Erstellung wie auch bei der anschließenden Überarbeitung insgesamt als überwiegend ähnlich eingeschätzt. Ohne nähere Kenntnisse über die genaue Wirkung des abweichenden Charakters von Konstruktion und Modifikation (vgl. Kapitel 4.3.1) könnte das vergleichbare Antwortverhalten hier u.U. darauf hindeuten, dass die beabsichtigte Eliminierung durch die grundlegende Vertrautheit von Beginn an ein Stück weit eingetreten ist. Insofern könnte es sein, dass das Methodentraining seiner Zielsetzung zu einem gewissen Maße nachgekommen ist. Dies könnte des Weiteren ebenso gelten im Hinblick auf die Eliminierung von Störvariablen in Form der Externalisationsvariablen aus Kapitel 4.2, deren Wirkung über die Items in Fragebogen B sowie über Items in Fragebogen C erhoben wurde. Nachdem in Anlehnung an die gängige Praxis (vgl. Kapitel 2.3.2) die theoretischen Grundlagen vermittelt und das Erstellen einer ersten eigenen CM praktisch geübt wurde, deutet das Antwortverhalten in beiden Gruppen zunächst nicht darauf hin, dass die Proband/innen sich methodisch unvorbereitet gefühlt haben: Das Erlernen der Methode und die technische Komponente der Konstruktion sind gruppenübergreifend von der Mehrheit als (eher) leicht bezeichnet worden und es sind insgesamt keine besonders großen Schwierigkeiten bei der Erstellung von Konzepten aufgetreten. Die genannten Probleme auf der propositionalen Ebene können, wie in Kapitel 7.3.2 erläutert, auf verschiedene Gründe zurückzuführen sein, wobei u.U. nicht ganz auszuschließen ist, dass sich eine weiterhin unzureichende Vertrautheit gerade in diesem Bereich auf die Leistung niedergeschlagen hat. Ein umfassenderes Training speziell in diesem Bereich hätte die angegebenen Schwierigkeiten möglicherweise verringern und die Leistung steigern können. In Anbetracht des ähnlichen Antwortverhaltens bezüglich der Modifikation (vgl. Kapitel 7.3.3) könnte dieser Zusammenhang ggf. auch hier gelten.

In Bezug auf die v.a. für die UG vorab erwarteten Neuigkeitseffekte sind die Ergebnisse zur Häufigkeit der schulischen/privaten Nutzung von Luft- und Satellitenbildern und der Erderkundung mittels ihnen ein Stück weit aussagekräftig: Wie in Kapitel 7.3.1 diskutiert, besteht in der UG ein Widerspruch zwischen der schulischen/privaten Nutzung auf der einen Seite und der Erderkundung mittels Luft- und Satellitenbildern auf der anderen Seite. In Anlehnung an die Schlussfolgerung von Ditter (2013), dass Luft- und Satellitenbilder von Schüler/innen möglicherweise nicht mit Google Maps bzw. Google Earth assoziiert werden, legt die geringe Antworthäufigkeit bei der Kategorie »Noch nie« beim Item zur Erderkundung zunächst nahe, dass den meisten Proband/innen dieses Medium bzw. die Arbeit mit ihm bekannt gewesen ist. Allerdings geben 20,5% eine Nutzungshäufigkeit von »< 1 × pro Jahr« an, weshalb ein Neuigkeitseffekt zumindest bei einem Teil der Proband/innen durchaus zu einem gewissen Maße vorgelegen haben könnte. Darüber hinaus deutet, selbst bei Berücksichtigung des o.g. Widerspruchs, die Tatsache, dass mehr als 90% der Proband/innen der UG eine unterrichtliche Einsatzhäufigkeit von höchstens einmal im Jahr angeben, des Weiteren auf die Notwendigkeit zur Durchführung dieses Methodentrainings hin. Ausgehend von den empirischen Daten erscheint es insgesamt mit Blick auf die Zielsetzung dieser Arbeit notwendig gewesen zu sein, dieses Methodentraining durchzuführen, um seitens der UG möglichst grundlegende methodische Kenntnisse zum Zweck der Störvariablenkontrolle sicherzustellen.

7.4.3 Kritische Würdigung des Erhebungsinstruments Concept Map

Die Externalisation von systemischem Denken ist exklusiv auf geeignete Darstellungsformen/-mittel angewiesen (vgl. Kapitel 2.2.4), sodass bei der Beurteilung/Bewertung von externalisiertem Systemwissen die für die Externalisation verfügbaren Repräsentationsmöglichkeiten zu berücksichtigen sind. Für die Erhebung und Diagnose sind in dieser Arbeit CMs eingesetzt worden, deren grundlegende Validität, Reliabilität und Objektivität in Kapitel 2.3.2.2 ausführlich behandelt und in Kapitel 4.5 explizit für die hier verwendete Variante und das darauf ausgerichtete Auswertungsschema verdeutlicht worden ist. Als kritischer Punkt verbleibt die Reaktivität der Methode im Allgemeinen, die sich auf die Konstruktvalidität negativ auswirken kann. Eine ähnliche Wirkung auf die Auseinandersetzung mit Systemen und das systemische Denken an sich hat sich bei Ossimitz (1994, 1996, 2000) und Bell (2004) gezeigt (vgl. Kapitel 2.2.4). In diesem Kontext ist der von Bell (2004) angesprochene generative Moment von Bedeutung, der auch beim Concept Mapping in dieser Arbeit dann eingesetzt haben kann, als die Proband/innen sich bei der Konstruktion mit den bereits repräsentierten Inhalten und Strukturen vertieft auseinandergesetzt haben und dabei Konzepte bzw. Sinneinheiten gedanklich erschlossen und repräsentiert wurden, die u.U. zuvor nicht bekannt waren. Dieser Prozess könnte bei der Modifikation in einem stärkeren Maße dadurch angeregt worden sein, dass die Inhalte und Strukturen der CM_{vorw} im Hinblick auf die durchzuführende Wissensassimilation/-akkomodation noch stärker (anziehend) als Keimzellen und Anknüpfungspunkte (vgl. Kapitel 2.3.2.3) gewirkt haben. Vor dem Hintergrund der intendierten Untersuchung der Wirksamkeit ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, die gewonnen CM-Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten, da nicht aufgeklärt werden kann, wie hoch der Anteil an Inhalten und Strukturen ist, die auf die Reaktivität zurückzuführen sind.

Dass CMs ein sensitives Instrument zur Erfassung von Veränderungen im Systemwissen sind, hat sich in dieser Arbeit bestätigt. Die bisher beim klassischen Prätest-Posttest-Vergleich festgestellte Änderungssensitivität ist auch bei dem hier verwendeten Modifikationsansatz gegeben: in vergleichbarer Weise zu den in Kapitel 2.3.2.2 aufgeführten Studien ist eine quantitative wie qualitative Verbesserung des Systemwissens eingetreten (vgl. Brandstädter et al. 2012). Es zeigt sich in diesem Zusammenhang wie bei Osmundson et al. (1999) eine Verbesserung sowohl durch Wissensassimilation als auch durch Wissensakkomodation. Des Weiteren bestätigt sich das Attribut, eine interindividuelle Differenzierung repräsentierter Inhalte/Strukturen zu ermöglichen. Bei allen Auswertungsgrößen haben sich interindividuelle Differenzen bei der Entwicklung von t_0 zu t_1 im Rahmen der Dezilvergleiche gezeigt[209] (vgl. Kapitel 6.1.2). Die Strukturanalyse bei der CM-Auswertung hat gezeigt, dass von keiner Probandin und keinem Probanden eine hierarchische Repräsentationsweise gewählt wurde. Es ist jeweils von sich aus eine netzwerkartige Repräsentation umgesetzt worden, die der Darstellungsweise im Referenznetz gleicht. Folglich erscheint es richtig gewesen zu sein, auf die Vorgabe einer hierarchischen Struktur aus den in Kapitel 2.3.2 aufgeführten Gründen zu verzichten.

Die gewonnen empirischen Erkenntnisse beruhen auf der offen Concept-Mapping-Variante und dem Modifikationsansatz. Ausgehend von der Feststellung von Brandstädter et al. (2012), dass es keine allgemein anerkannte Concept-Mapping-Variante zur optimalen Erfassung und Diagnose von Systemwissen gibt, sind die Vor-/Nachteile verschiedener Varianten in Kapitel 4.3.1 gegeneinander abgewogen, die Entscheidung für die völlig offene Variante begründet und in Kapitel 4.5 ein darauf ausgerichtetes Auswertungsschema vorgestellt worden. Offene Variante und Auswertungsschema sind darauf ausgelegt, einen tiefgründigen, umfangreichen und interindividuell sensitiven Einblick in das

[209] Streng genommen sind jeweils die HDS-Werte gleicher Dezile und damit die Werte von mehreren Proband/innen innerhalb eines Dezils gemeinsam miteinander verglichen wurden.

individuell repräsentierte Systemwissen als Grundlage für den Rückschluss auf die einzelnen Fähigkeiten zu ermöglichen. Insbesondere wegen der Möglichkeit zur adäquaten Erfassung der inhalts- und strukturbezogenen Wissenskomponente sowie zur Vermeidung der in Kapitel 2.3.2.2 und 4.3.1 aufgeführten negativen Einflüsse durch vorgegebene CM-Parameter ist die offene Variante schlussendlich ausgewählt worden (vgl. Kapitel 4.1). Allerdings ist diese mit Anforderungen verbunden, die die Proband/innen, und hier besonders die leistungsschwächeren unter ihnen, vor größere mentale Herausforderungen gestellt und in der Folge zu Leistungseinbußen beim Concept Mapping geführt haben kann. Als empirischer Hinweis in diese Richtung kann gruppenübergreifend das Antwortverhalten bezüglich der Handhabbarkeit und der Schwierigkeiten, v.a. im propositionalen Bereich, betrachtet werden – wobei auch hier der Einfluss von bzw. das Zusammenspiel mit personalen Variablen wie z.B. dem Systemwissen, den verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen und den kognitiven Denkfähigkeiten auf höheren Anforderungsstufen zu berücksichtigen ist (vgl. Kapitel 7.3.2 und 7.3.3).

Im Kontext der Feststellung von Hoffmann & Engelkamp (2013) kann davon ausgegangen werden, dass zusammenhängend repräsentiertes Wissen auch in den kognitiven Strukturen miteinander verknüpft ist. Der Umkehrschluss, dass nicht zusammenhängend repräsentiertes Wissen in den kognitiven Strukturen nicht miteinander verknüpft ist, erscheint deshalb nicht zwangsweise gültig, da eine Vielzahl personaler und externaler Variablen einen Einfluss auf die Externalisation ausübt (vgl. Kapitel 4.2, 7.3.2 und 7.3.3). Insgesamt sind die CM-Leistungen der Proband/innen daher mit Vorsicht zu betrachten, wenn es um eine abschließende Einschätzung geht, wie viel Systemwissen zu t_0 bereits bestanden hat und wie sich dieses im Zuge der Intervention verändert hat. Dies könnte u.U. in einem besonderen Maße für die erschwerte Repräsentation von Systemprozessen gelten (vgl. Kapitel 3.2, 7.3.2 und 7.3.3).

Der über Aufgaben angeleitete, ansonsten aber weitestgehend selbstständig zu leistende kognitive Transfer der visuell erschlossenen Systeminformationen in die Knoten-Relationen-Struktur der CM_{vorw} hat sich den Beobachtungen des Autors dieser Arbeit nach bei durchaus vielen Proband/innen beider Gruppen als eine mitunter anspruchsvolle und z.T. sogar möglicherweise überbeanspruchende Aufgabe herausgestellt. Stärker binnendifferenzierte Aufgaben zur visuellen Auswertung in unmittelbarer Verknüpfung mit der Modifikation hätten hier eventuell bessere Unterstützung leisten können, um den Einfluss von Externalisationsvariablen aus Tabelle 20 und Tabelle 21 abzumildern. Es ist anzunehmen, dass systemrelevante Aspekte, die in beiden Gruppen durchaus visuell erschlossen wurden, anschließend nicht (immer) in die eigene CM_{vorw} integriert wurden, wie die in Kapitel 7.3.3 angesprochene Tendenz zur Repräsentation weniger Hauptaspekte anstelle einer ausführlichen Ausdifferenzierung mit z.B. Ursachen und Folgen vermuten lässt. In diesem Zusammenhang können u.U. auch die angesprochenen isolierten Wahrnehmungen stehen, die in den CMs weniger miteinander als vielmehr häufig mit anderen Inhalten/Strukturen verknüpft wurden. Die Beobachtung widerspricht einerseits den Feststellungen von Williams (1998)[210], stimmt andererseits jedoch mit der Aussage von Nesbit & Adesope (2006) überein, dass „[i]*f concept maps are inherently biased toward the representation of summary information, it may be that they are particularly good for acquiring main ideas, but poor for acquiring detailed, nuance-laden knowledge*." (ebd., S. 417). Obschon über die Aufgabenstellung und die Materialien eine ausdifferenzierte Darstellung des Systemwissens angeregt wurde, ist vor dem Hintergrund der schlussendlich vorliegenden Systemrepräsentationen kritisch anzumerken, dass dies offensichtlich nicht in einem ausreichenden Maße gelungen ist.

[210] Die Autorin konnte in ihrer CM-Untersuchung feststellen, dass die Konstrukteure vorwiegend auf der Ebene von Unterbegriffen operierten: „*The most striking observation about both the reform and traditional students' maps was that many of the students' concepts and propositions were trivial or irrelevant* […] *One could say their preoccupation was with the trees rather than with the forest*." (S. 416f.)

Bezüglich des Einflusses des Auswertungsschemas sind zunächst die mit ihm verbundenen Herausforderungen kritisch anzumerken, die sich durch die Komplexität und die intendierte Gleichbehandlung ähnlicher Fälle ergeben. Die Auswertung erfolgte auf der inhaltlich-strukturellen sowie auf der Wertigkeitsebene. Durch den Abgleich mit dem Referenznetz ist ein Punkteschema zur Anwendung gekommen, dessen Ausdifferenzierung in die Auswertungsgrößen K-Wert$_{ELE}$, K-Wert$_{PRO}$, S-Wert$_{BEZ}$ und S-Wert$_{PRO}$ und damit in den CM-SP und CM-KPG eingeht, sodass deren Ausprägung zu t_0, zu t_1 und bei *D* das Resultat der Leistung der Proband/innen ist, wie sie sich aus dem verwendeten Punkteschema heraus ergibt. Die Reproduzierbarkeit der CM-Ergebnisse bleibt deshalb auf ein identisches Auswertungsschema beschränkt. Des Weiteren ist wegen dieser Herangehensweise zu beachten, dass die Identifikation der verschiedenen Fähigkeiten nicht nur die inhaltlich-strukturelle Informationsebene betrifft, sondern ebenso die Wertigkeitsebene. Wegen der hohen statistischen Korrelation sind die ursprünglich aus inhaltlichen Überlegungen heraus aufgestellten Auswertungsgrößen K-Anzahl$_{ELE}$, K-Anzahl$_{PRO}$, S-Anzahl$_{BEZ}$ und S-Anzahl$_{PRO}$ sowie der CM-KPI bei der statistischen Datenauswertung nicht berücksichtigt worden. Auf den sich daraus ergebenden Informationsverlust ist in Kapitel 5.1 eingegangen worden, der insbesondere den Umstand betrifft, dass interindividuell kaum noch differenziert werden kann zwischen Proband/innen mit wenigen Konzepten/Sinneinheiten, die die höchste Punktezahl erhalten haben, und Proband/innen mit vielen Konzepten/Sinneinheiten mit geringer Punktezahl. Des Weiteren ist im Hinblick auf das nachfolgende Kapitel zu beachten, dass die nach der Reduzierung der Anzahl an Auswertungsgrößen verbliebenen minimalen Korrelationen auf statistischer Ebene u.U. negativ auf die Teststärke der multivariaten Hypothesentests eingewirkt haben, weshalb in der Folge möglicherweise bestehende Signifikanzen auf der Ebene aller AVs nicht aufgedeckt worden sind (vgl. hierzu in Kapitel 6.1.2.2, 6.1.2.5 und 6.1.2.6).

7.4.4 Kritische Würdigung der robusten statistischen Auswertung

Die eingesetzten modernen Verfahren der robusten Statistik ermöglichen, im Rahmen der zugelassenen Wahrscheinlichkeit für einen α-Fehler (5%) bzw. β-Fehler (20%), einen weitestgehend validen und reliablen Vergleich der Ausprägung der Auswertungsgrößen zu t_0, zu t_1 und bei *D* auf der Ebene des getrimmten Gruppenmittels (M_γ) wie auch im Bereich der Dezile der jeweiligen Werteverteilung. Für die Bestimmung von M_γ sind zur Begegnung der Kritik am Trimmungskonzept stufenweise die oberen/unteren 5% ($\gamma = 0{,}05$), 10% ($\gamma = 0{,}10$) und 20% ($\gamma = 0{,}20$) der CM-Werte ausgeschlossen worden. Die u.a. dadurch verursachte erhöhte Testanzahl hat eine α-Fehler-Kontrolle erforderlich gemacht, die in manchen Fällen dazu geführt hat, dass Signifikanz nicht mehr als solche gegeben ist. Die Absicherung gegen eine Überschreitung der α-Fehler-Wahrscheinlichkeit ist bei allen Hypothesentests auf der Basis von M_γ gegeben, da die Methoden der robusten Statistik darauf ausgelegt sind, das nominelle Signifikanzniveau einzuhalten. Um auch Auswertungsgrößen reliabel zu erfassen, die in Anlehnung an Bortz & Schuster (2010) ein extremes Ergebnis der falschen Richtung darstellen, sind die im Rahmen der H_1 einseitig formulierten Hypothesen zweiseitig überprüft worden. Aus diesem Grund ist die Verschlechterung des CM-SRG bei beiden Gruppen statistisch reliabel ermittelt worden.

Bezüglich der Absicherung gegen eine Überschreitung der β-Fehler-Wahrscheinlichkeit bei den Hypothesentests zur Entwicklung der Testgruppen von t_0 zu t_1 deuten die Ergebnisse der R-Funktion *stein1.tr* in Kapitel 6.1.2.3 bzw. 6.1.2.4 darauf hin, dass der für die Einhaltung der nominellen Teststärke benötigte Stichprobenumfang wegen der Verteilungseigenschaften der Gruppenwerte bei bestimmten Auswertungsgrößen nicht immer ausgereicht hat. Durch den robusten Auswertungsansatz ist eine weitere Absenkung der Teststärke, wie sie bei traditionellen Methoden durch verletzte Testvoraussetzungen hervorgerufen werden kann, jedoch vermieden worden. Durch die zu geringe Gruppen-

größe sind die Hypothesentests auf der Basis von M_γ im Rahmen des CM-SRG und CM-VNI bei der UG bzw. des CM-SRG bei der VG mit einer Wahrscheinlichkeit für einen β-Fehler von ≥ 20% durchgeführt worden. Es kann deshalb sein, dass eine signifikante Verbesserung nicht aufgedeckt wurde. Im Hinblick auf den CM-SRG ist es dabei möglich, dass die bei der UG als nicht signifikant geschlussfolgerte Verschlechterung infolge der zu geringen aktuellen Teststärke u.U. doch signifikant ist. Darüber hinaus kann es sein, dass sich der CM-TS, wenn auch wegen der bereits minimal möglichen Anzahl in beiden Testgruppen unwahrscheinlich, signifikant verbessert hat.

Mit Blick auf die Absicherung gegen eine Überschreitung der nominellen Wahrscheinlichkeit für einen β-Fehler bei den Gruppenvergleichen zu t_0, zu t_1 und auf der Basis von *D* hat die R-Funktion *hochberg* eine unzureichende Gruppengröße bei einigen Auswertungsgrößen zu erkennen gegeben. Dies hat dazu geführt, dass bei den Hypothesentests 95%-KIs der M_γ-Differenz ausgegeben wurden, die relativ weit sind. Als Folge daraus ist die Präzision der Schätzung der Lage der M_γ-Differenz teilweise (viel zu) ungenau. Aufgrund der z.T. sehr geringen Konfidenz in die Präzision der statistischen Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die wahre Differenz zwischen den beiden Gruppen im Bereich der betroffenen Auswertungsgrößen von der ermittelten Differenz u.U. erheblich abweicht. Da mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit kein α-Fehler gegangen worden ist, richtet sich die geringe Konfidenz v.a. in Richtung einer unzureichenden aktuellen Teststärke (≤ 80%) und damit der Möglichkeit, dass ein β-Fehler begangen wurde. Der S-$Wert_{mod\text{-}PRO}$, der nach α-Fehler-Kontrolle als nicht mehr signifikant ausgewiesen wird, ist vor diesem Hintergrund möglicherweise überhaupt nicht signifikant. Was den ebenfalls ermittelten signifikanten Unterschied beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$, S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ und CM-$KPG_{D\text{-}PRO}$ angeht, liegt ein geteiltes Bild vor: Während die als signifikant ermittelten Differenzen beim K-$Wert_{D\text{-}ELE}$ höchstwahrscheinlich (hohe Konfidenz) und beim CM-$KPG_{D\text{-}PRO}$ wahrscheinlich (leicht verminderte Konfidenz) zutreffend, d.h. reliabel sind, ist die Reliabilität der ausgewiesenen Signifikanz der Differenz beim S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ wegen der größeren Anzahl an zusätzlich notwendigen Proband/innen vergleichsweise geringer. Es lässt sich daher nicht völlig ausschließen, dass aufgrund der verminderten Teststärke u.U. ein β-Fehler begangen wurde und die Gruppendifferenz als solche nicht signifikant ist. Dies würde bedeuten, dass die UG in der Intervention nicht signifikant mehr Systemprozesse in Form von Sinneinheiten in ihre CM_{vorw} integriert hat als die VG, sodass die $H_{2.4}$ zu verifizieren wäre.

Im Rahmen der von Beginn an zugelassenen Wahrscheinlichkeit für einen α- bzw. β-Fehler ist mit Blick auf die durchgeführten robusten (Ko-)Varianzanalysen die Vorgehensweise kritisch anzumerken, dass diese aus auswertungsökonomischen Gründen (hohe Testanzahl) ausschließlich bei $\gamma = 0{,}20$ durchgeführt wurden. Im Gegensatz zu den univariaten Hypothesentests sind die aus ihnen gewonnenen Erkenntnisse daher in einem stärkeren Maße der Kritik am Trimmungskonzept ausgesetzt. Durch den Ausschluss ist es zudem teilweise notwendig gewesen, verschiedene Antwortkategorien zusammenzulegen, um die Analysen durchführen zu können. Es kann daher sein, dass bei einem geringeren γ dies nicht notwendig gewesen wäre. Schließlich ist anzumerken, dass statistische Zusammenhänge auch ohne inhaltliche Fundierung zustande kommen können und sich deshalb nicht jeder statistische Zusammenhang erklären lässt bzw. erklären lassen muss. Umgekehrt müssen sich nicht alle einflussnehmenden Variablen in statistischen Zusammenhängen wiederfinden.

8 Fazit und Ausblick

Das Forschungsinteresse dieser Arbeit zielte auf eine empirisch fundierte Beantwortung der in Kapitel 1 formulierten, grundsätzlichen Fragen zur absoluten wie relativen Wirksamkeit von digitalen Luft- und Satellitenbildern im Hinblick auf die Anwendung verschiedener Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE bei der bildbasierten systemischen Raumerschließung ab, um ggf. damit verbundene Einsatzpotenziale für die schulische (BNE-)Praxis zu explorieren. Das über die gedächtniskonforme Repräsentationsmethode Concept Mapping erhobene Systemvorwissen zum Braunkohleabbau im Rheinischen Revier, das das bei der Anwendung der Fähigkeiten aufgebaute/modifizierte mentale Systemmodell wiedergibt, ist von den teilnehmenden Kursstufenschüler/innen um jene Systeminformationen ergänzt und angepasst worden, die bei der visuellen Auswertung der digitalen Luft- und Satellitenbilder (UG) bzw. der digitalen topographischen Karten (VG) selbstständig erschlossen werden konnten. Die aus der CM-Auswertung hervorgegangenen empirischen Ergebnisse beziehen sich im Rahmen der robusten Datenauswertung neben den Dezilen auf das getrimmte Gruppenmittel, das ausschließlich die individuellen Leistungen beim Concept Mapping im zentralen Hauptteil einer Gruppe fokussiert, in dem die Ergebnisse dem getrimmten Mittel stärker entsprechen. Aussagen über die Verteilungsränder, d.h. zu jenen Schüler/innen mit besonders guten oder schlechten Ergebnissen sind nicht möglich.

Mit Blick auf die Bestimmung der absoluten Wirksamkeit hat die Auswertung der CM-Daten gezeigt, dass trotz der erkennbaren interindividuellen Leistungsdifferenzen, die ein Ausdruck der natürlichen Heterogenität der Kursstufenschüler/innen sein sollten (ggf. überprägt durch untersuchungsbedingte Einflüsse), bei der UG im getrimmten Gruppenmittel signifikante Leistungsverbesserungen im Bereich der meisten Auswertungsgrößen (Verifikation von vier der fünf Teilhypothesen zur Forschungsfrage 1) sowie zusätzlich beim Korrespondenzgrad mit dem Referenznetz zu erkennen sind. Die damit einhergehenden Effekte sind überwiegend moderat bis groß. Einzig die Identifikation der Systemgrenze hat sich verschlechtert. Die Leistungsverbesserungen sind bei sieben von zehn Auswertungsgrößen in allen Dezilen und damit bei den meisten Schüler/innen in dieser Gruppe aufgetreten. Insgesamt ist es ihnen in der Breite (Dezile) und Tiefe (Effektstärken) gelungen, die CM_{mod} zu einem durchaus erheblichen Maße stärker auf die Merkmale des behandelten Systems Braunkohleabbau auszurichten als bei der CM_{vorw} zuvor. Das dadurch signifikant verbesserte Systemmodell/-wissen legt eine durchaus hohe absolute Wirksamkeit der visuellen Auswertung der digitalen Luft- und Satellitenbilder im Rahmen des behandelten Systems Braunkohleabbau nahe. Inwiefern die Auseinandersetzung mit diesem Medium, wenn möglichst grundlegende methodische Kenntnisse vorliegen, einen inhaltlichen Mehrwert für systemisches Denken in der BNE bieten kann, lässt sich im Rahmen einer einmaligen Intervention mit einem kurzen Methodentraining nur ansatzweise erkennen. Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse lassen jedoch die Schlussfolgerung zu, dass die visuelle Auswertung über eine größere Spannweite von Kursstufenschüler/innen hinweg die Anwendung der verschiedenen Fähigkeiten im Zuge der systemischen Erschließung eines komplexen Gegenstandsbereichs wie dem Braunkohleabbau grundsätzlich in einem Maße zu ermöglichen scheint, das mit größeren Verbesserungen am bereits vorab bestehenden Systemmodell/-wissen einhergeht. Die aus der Sicht der Fernerkundungs-/Geographiedidaktik sowie der Bildwissenschaft positiven Eigenschaften und Wirkungen von realistischen Bildern

wie Luft- und Satellitenbildern (vgl. Kapitel 3.3.2) werden damit ein Stück weit empirisch bestätigt. Insgesamt weisen die Erkenntnisse in eine Richtung, die den Eindruck entstehen lässt, dass die visuelle Auswertung von digitalen Luft- und Satellitenbildern – jenseits ihres klassischen Einsatzes als reines visuelles Begleitmedium – in der schulischen BNE bzw. im Geographieunterricht durchaus unterrichtlich bedeutsam sein kann für eine tiefgreifende systemische Erkundung von Erdräumen, sofern möglichst grundlegende methodische Kenntnisse vorliegen. Diese Erkenntnis bezieht sich streng genommen ausschließlich auf vergleichbare Luft- und Satellitenbilder, ein vergleichbares System und vergleichbare Fähigkeiten systemischen Denkens in der BNE. Inwiefern darüber hinaus der Einsatz in einem größeren unterrichtlichen Einsatzspektrum (verschiedene Themen, Erdräume etc.) möglich ist, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Dies impliziert auch das Verhältnis zu anderen äquivalenten Medien wie z.B. den in Kapitel 3.3.2 erwähnten thematischen Karten.

Im Hinblick auf die Bestimmung der relativen Wirksamkeit ist zunächst zu erkennen, dass die Schüler/innen der VG eine ähnliche Entwicklung wie die der UG genommen haben. Auch bei ihnen sind signifikante Leistungsverbesserungen im getrimmten Gruppenmittel wie in den Dezilen bei sieben von zehn Auswertungsgrößen zu erkennen. Angesichts der Breite und Tiefe (moderate bis große Effekte) der Verbesserungen liegt seitens der eingesetzten digitalen topographischen Karten eine ebenso große absolute Wirksamkeit vor. Jedoch ist auch bei dieser Gruppe eine Verschlechterung im Bereich der Systemgrenze aufgetreten. Die direkte Gegenüberstellung der Leistungsverbesserungen in beiden Testgruppen hat zu erkennen gegeben, dass die UG in bestimmten Bereichen stärkere Zuwächse erzielen konnte als die VG: Bis auf die Beziehungen zwischen den Systemelementen, den Vernetzungsindex, die Anzahl an Teilstrukturen und den Systemrelevanzgrad weisen alle anderen Auswertungsgrößen im getrimmten Gruppenmittel eine vergleichsweise größere Verbesserung seitens der UG auf. Im Bereich der Systemelemente und -prozesse (repräsentiert als Sinneinheiten)[211] sowie des Korrespondenzgrades weicht die UG dabei signifikant von der VG ab. Dieser Unterschied findet sich in (fast) allen Dezilen und damit auf (nahezu) der gesamten Breite der Gruppen wieder. Darüber hinaus hat sich die UG im Bereich der Systemgrenze weniger stark verschlechtert. Insgesamt geht aus den CM-Daten eine Verschiebung durch die Intervention hervor: Während die VG zu Interventionsbeginn ein inhaltlich-strukturell etwas besseres Systemwissen repräsentiert hat, ist es am Interventionsende umgekehrt die UG, der dies besser gelungen ist. Die empirischen Ergebnisse, die eine Falsifizierung von zwei der fünf Teilhypothesen zur Forschungsfrage 2 nahelegen, deuten schlussendlich auf eine etwas größere relative Wirksamkeit seitens der Luft- und Satellitenbildauswertung hin.

Bei der Formulierung der Forschungsfrage 2 ist auf der Grundlage der bildwissenschaftlichen bzw. kognitionspsychologischen Theorien und Modelle wegen der zusätzlichen Kartenlegende/-schrift ein theoretischer Vorteil für die topographischen Karten herausgestellt worden, der auf eine stabilere und kohärentere mentale Systemrepräsentation hindeutet und einen objektiveren Charakter des Informationserschließungsprozesses nahelegt (vgl. Kapitel 3.3.2). Da beide Testgruppen ein ähnliches Antwortverhalten bezüglich der CM_{vorw}-Modifikation zeigen, und hier keine Effekte mit differenzierter Wirkung zwischen den Testgruppen feststellbar sind, sollte die z.T. signifikante Verschiebung der Quantität bzw. Qualität des repräsentierten Systemwissens zugunsten der UG nicht zuletzt auch aus den in Kapitel 3.3.2 dargestellten positiven Eigenschaften und Wirkungen der Luft- und Satellitenbilder hervorgegangen sein. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür ist mit der generalisierenden Rekonstruktion in Kapitel 7.3.3 gegeben worden: Durch die unmittelbare Wahrnehmung der Tagebaue, des Kraftwerks

[211] Wie in Kapitel 7.4.4 diskutiert, kann u.U. eine Fehlentscheidung (wegen zu geringer Teststärke) bezüglich des bei der UG als signifikant größer eingeschätzten S-$Wert_{D\text{-}PRO}$ vorliegen.

etc. auf dem hochaufgelösten Luftbild ist der direkte Bezug zum System Braunkohleabbau möglicherweise seitens der UG leichter hergestellt worden als auf der Grundlage der vielfach abstrakt-geometrischen Signaturen in den topographischen Karten; dies könnte insbesondere dann zugetroffen haben, als die Verwendung der Legende/Kartenschrift in der VG unterlassen wurde. Darüber hinaus hat das realistische, ästhetisch-emotional ansprechende Wesen v.a. des Luftbildes auf das situationale Interesse eventuell stärker eingewirkt, wie das signifikant unterschiedliche Antwortverhalten nahelegt. Wird der damit zusammenhängende Motivationsaspekt als ein inhärenter Begleiteffekt dieses Mediums verstanden, könnte hieraus u.U. eine intensivere visuelle Auseinandersetzung mit den Bildinhalten hervorgegangen sein, die zusammen mit den durch die hohe Bildauflösung stärker geförderten Assoziationsprozessen[212] zu den vergleichsweise besseren Leistungen bei der UG geführt hat. Sollte dieser Zusammenhang eingetreten sein, kann es sein, dass die Wirkung des realistischen, ästhetisch-emotional ansprechenden Wesens der Luft- und Satellitenbilder, v.a. bei einer hohen Bildauflösung, die der sachlich-informativen, reduzierend-abstrakt wirkenden topographischen Karten – trotz der fehlenden verbalen Informationen – (in manchen Bereichen) übertroffen hat. Es deutet sich hieraus tendenziell an, dass bei einem hinreichenden Maß an grundlegenden methodischen Kenntnissen die fehlende Legende/Beschriftung u.U. durch eine hohe Bildauflösung zu einem gewissen Grad kompensiert werden kann.

Bei den CM-Ergebnissen hat sich herausgestellt, dass die Schüler/innen der UG tendenziell stärker zu prozessualem Denken (Repräsentation von Systemprozessen) tendiert haben als die in der VG. Inwiefern die signifikant stärkere Verbesserung der UG bei den Systemelementen und -prozessen (repräsentiert als Sinneinheiten) mit der bereits zu Interventionsbeginn tendenziell stärkeren Ausprägung in dieser Gruppe zusammenhängt, bleibt offen. Bezüglich der CM_{mod} liegt hier eventuell ein Zusammenhang zu dem signifikant unterschiedlichen Antwortverhalten bei den Items zur Wahrnehmung der raumzeitlichen Dynamik des Braunkohleabbaus und der raumzeitlichen Veränderungen in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen vor, die jeweils die Prozessdimension betreffen. Wie in Kapitel 7.3.3 diskutiert, könnte ein möglicher Grund hierfür auf das vorstellungsbildend-anschauliche Wesen v.a. des hochaufgelösten Luftbildes mit seinem Abbild-Charakter zurückzuführen sein, das zu einer vergleichsweise realistischeren Raumwahrnehmung geführt und möglicherweise die Identifikation der Systemelemente und -prozesse stärker begünstigt haben könnte, z.B. über die o.g. stärker geförderten Assoziationsprozesse. In Bezug auf letztere könnte der mentale Vorstellungsprozess und damit die mentale Modellsimulation in Relation zur VG stärker angeregt/unterstützt worden sein. Der VG könnte dieser Prozess wegen der abstrakt-geometrischen Signaturen schwerer gefallen sein. Dieser Zusammenhang würde möglicherweise die Probleme der Schüler/innen in der Untersuchung von Diekmann-Boubaker (2010) erklären, die die Autorin seinerzeit v.a. auf ein mangelndes bereichsspezifischen Vorwissen zurückgeführt hat. Ob angesichts der in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse spezifische Stärken der Luft- und Satellitenbilder gerade in der Prozessdimension zu verorten sind, kann nicht weiter aufgeschlüsselt werden.

Die individuellen Leistungen in beiden Gruppen können potenziell durch eine Vielzahl von personalen Moderator-/Externalisationsvariablen beeinflusst worden sein, u.U. dabei auch in einem zwischen den Gruppen differenzierten Maße. Wie die robusten Testergebnisse im Kontext von Forschungsfrage 3 erkennen lassen, liegt lediglich bei fünf Items aus Fragebogen A ein zwischen den Testgruppen signifikant abweichendes Antwortverhalten vor, wovon keines mit einem Effekt im o.g. Sinne verbunden

[212] Wie in der generalisierenden Rekonstruktion erwähnt, lässt sich der Einfluss des Systemvorwissens auf die Assoziationsprozesse nicht (eindeutig) aufklären.

ist. Bei den drei KVs, bei denen stattdessen Effekte vorliegen, ist entweder die Reliabilität sehr stark eingeschränkt oder es ist kein eindeutiger statistischer Trend erkennbar. Insofern ist mit Blick auf die KVs in diesem Fragebogen kein deutlicher Einfluss zu erkennen, der sich zwischen den Testgruppen signifikant unterschiedlich ausgewirkt haben könnte. Von den drei KVs, die einen gruppenübergreifenden Effekt mit differenzierter Wirkung zwischen den Antwortkategorien (im Sinne von Haupteffekten) aufweisen, weist lediglich der Skalenindex zur Selbstwirksamkeit im Computerumgang einen statistischen Trend auf. Darüber hinaus lassen sich zwischen dem Antwortverhalten und den CM-Leistungen keine eindeutigen systematischen Zusammenhänge im Rahmen von Fragebogen A erkennen.

Im Bereich der KVs aus Fragebogen B ist nur in Bezug auf das einfache Erlernen des Concept Mapping, den Schwierigkeiten bei der Konzeptverknüpfung und dem Verständnis der Sinnzusammenhänge zwischen den Konzepten ein signifikant voneinander abweichendes Antwortverhalten gegeben. Inwiefern diese oder andere KVs eine Wirkung auf die Leistungen bei der CM_{vorw}-Konstruktion entfaltet haben, bleibt offen. Ausgehend vom Antwortverhalten deutet sich eine weitestgehend vergleichbare Wahrnehmung der Konstruktion in beiden Gruppen an. Diese lässt tendenziell auf eine Gesamtsituation schließen, die sich bei den Schüler/innen mehrheitlich eher positiv auf das Interesse, die Anstrengung und auf die Leistung bei der Konstruktion der CM_{vorw} ausgewirkt haben sollte.

Aus Fragebogen C weisen zwei Skalenindices und drei weitere KVs auf ein signifikant unterschiedliches Antwortverhalten hin. Für keine dieser KVs konnte ein Effekt mit differenzierter Wirkung zwischen den Testgruppen (ko-)varianzanalytisch aufgedeckt werden. Hingegen deuten der Skalenindex zur wahrgenommenen Kompetenz und der zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung eine derartige Wirkung an. Ferner konnte ein gruppenübergreifender Effekt für eine Vielzahl von KVs identifiziert werden (vgl. Tabelle 88), von denen allerdings nur die Modifikation mit CmapTools und die Zufriedenheit mit der CM_{mod} bei beiden untersuchten Auswertungsgrößen, sowie die Schließung der Wissenslücken und die Schwierigkeiten bei der Modifikation bei einer der beiden, einen eindeutigen statistischen Trend zeigen. Während die auf das Concept Mapping ausgerichteten Items keinen signifikanten Gruppenunterschied aufweisen, deutet das Antwortverhalten zur visuellen Auswertung insgesamt darauf hin, dass diese für die UG etwas interessanter gewesen und mit einer vergleichsweise größeren Anstrengung einhergegangen zu sein scheint (ein Effekt im Bereich letzterer ist nach α-Fehler-Kontrolle nicht mehr signifikant). Die bei der UG positivere Ausprägung bei allen drei Skalen zur intrinsischen Motivation könnte, wie im generalisierenden Rekonstruktionsansatz dargestellt, in Verbindung stehen mit dem aufgedeckten Effekt mit differenzierter Wirkung zwischen den Gruppen im Bereich der Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung. Die gleichzeitige Modifikation ist in beiden Gruppen vergleichsweise ähnlich wahrgenommen worden.

Angesichts der aufgedeckten Effekte ist die Erhebung und die (ko-)varianzanalytische Untersuchung der KVs rückblickend eine notwendige Maßnahme gewesen, um ein genaueres Verständnis für die Zusammenhänge bei der Konstruktion bzw. bei der visuellen Auswertung mit paralleler Modifikation zu erhalten und um im Kontext von Forschungsfrage 3 die dabei aufgetretenen Effekte auf der Ebene der personalen Moderator-/Externalisationsvariablen einschätzen zu können. Jenseits davon haben sich bei der Diskussion der Fragebogen- und (ko-)varianzanalytischen Ergebnisse verschiedene weitere Variablen als einflussreich angedeutet, die u.U. ebenfalls eingewirkt haben können. Zu ihnen gehören die individuellen verbalen Fähigkeiten/Kompetenzen mit Blick auf die Versprachlichung des eigenen Systemvorwissens bzw. der erschlossenen Systeminformationen im Sinne eines Begriffs- und Verben-Vokabulars. Letzteres kann zusammen mit den individuellen Denkfähigkeiten auf den höheren kognitiven Anforderungsstufen (Analyse/Bewertung) bzw. den individuellen metakognitiven Fähigkeiten (Selektion/Entscheidung) zu den vergleichsweise größeren Schwierigkeiten im Bereich der Erstellung

der Verbindungswörter beigetragen haben. Des Weiteren kann das im Rahmen von systemischem Denken grundsätzlich bedeutsame Denken in Relationen bzw. in verschiedenen Relationsarten, das bei der visuellen Auswertung seitens mancher Schüler/innen als herausfordernd und möglicherweise auch überfordernd beobachtet wurde, sowohl zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung als auch zu denen im Bereich der Konzeptverknüpfung beigesteuert haben. Zusammen mit der unterschiedlich starken Vertrautheit mit dem Concept Mapping bzw. der verwandten Repräsentationstechnik Mind Mapping und angesichts der methodisch spezifischen Darstellungsweise in der Knoten-Relationen-Struktur lässt sich hieraus ein interindividuell unterschiedlich starker Einfluss darauf annehmen, wie gut es in beiden Gruppen gelungen ist, das eigene Systemwissen (v.a. auf der Ebene der Sinneinheiten) in der eigenen CM_{vorw} zu repräsentieren bzw. dieses an die erschlossenen Systeminformationen anzupassen; als ein empirisches Indiz in diesem Zusammenhang kann der Haupteffekt mit eindeutigem Trend bei der Zufriedenheit mit der CM_{mod} herangezogen werden. Es ist daher zu vermuten, dass sich die erwähnten Einwirkungen zu einem interindividuell unterschiedlichen Maße auf die Quantität bzw. Qualität des repräsentierten Systemwissens zu Interventionsbeginn sowie am Interventionsende niedergeschlagen hat. Dies würde bedeuten, dass die modifizierten und sehr wahrscheinlich ebenso die zuvor konstruierten Systemrepräsentationen u.U. nur einen begrenzten Einblick in das individuelle Systemmodell/-wissen in beiden Gruppen gegeben haben. Inwiefern bei einem Teil der Schüler/innen noch bessere Leistungen möglich gewesen wären, die auf eine noch höhere absolute Wirksamkeit der Medien schließen lassen würden, bleibt offen. In dieser Hinsicht ebenfalls relevant zu sein scheint die individuelle Ausprägung der balance of challenges and skills nach Waterman (2005) sowie die Passung der gesamten Interventionseinheit zu den individuellen Interessen, Neigungen und dem bevorzugten Lernstil, die/der sich auf die Leistungsbereitschaft und die schlussendliche Leistung beim Concept Mapping und/oder bei der visuellen Auswertung ausgewirkt haben kann. Ein Stück weit empirisch gestützt wird diese Annahme durch das in Kapitel 7.3.2 und 7.3.3 diskutierte Antwortverhalten zur Zufriedenheit, Interessantheit und Nützlichkeit (mit) der Konstruktion/Modifikation. Stärker binnendifferenzierte Aufgaben hätten eventuell manche der zuvor erwähnten Einflüsse abmildern können.

Mit Blick auf das eingesetzte Erhebungsinstrument CM hat sich die grundsätzliche Repräsentierbarkeit von Systemmerkmalen in der Knoten-Relationen-Struktur angesichts der vorliegenden Ergebnisse durchaus als gegeben erwiesen. Es ist diesbezüglich dennoch zu beachten, dass wegen der zuvor aufgeführten Einflüsse eventuell Beeinträchtigungen bei der Wissensrepräsentation (v.a. auf der Ebene der Sinneinheiten) aufgetreten sein können, die sich in den Leistungen beim Concept Mapping niederschlagen. Es bleibt in diesem Kontext ungeklärt, inwiefern diese besonders die Repräsentation von Systemprozessen betreffen und aus welchem Grund die VG in Bezug auf die CM_{vorw}-Konstruktion signifikant größere Schwierigkeiten bei der Konzeptverknüpfung bzw. ein damit verbundenes, signifikant schlechteres Verständnis für die Sinnzusammenhänge zwischen den Konzepten angibt. Wie die Testergebnisse zeigen, hat sich die in dieser Arbeit durchgeführte offene Concept-Mapping-Variante als änderungssensitiv erwiesen. Sie sollte zudem in Anlehnung an die Darstellungen in Kapitel 4.3.1 eine prinzipiell möglichst valide Auskunft über die inhalts- wie strukturbezogene Komponente des von den Schüler/innen repräsentierten Systemwissens gegeben haben, wobei die o.g. Beeinträchtigungen teilweise auch mit der Offenheit dieser Variante zusammenhängen können. Der verwendete Modifikationsansatz hat die Möglichkeit geboten, die visuell erschlossenen Systeminformationen unmittelbar in die eigene CM_{vorw} einzuarbeiten und diese dementsprechend daran anzupassen. Da der Fokus der zweiten Concept-Mapping-Phase auf der Integration bzw. Korrektur gelegen hat, ist zu vermuten, dass das insgesamt unklare Ausmaß der Reaktivität bei der Modifikation möglicherweise etwas größer gewesen ist. In diesem Fall wäre die absolute Wirksamkeit beider Medien etwas geringer einzustufen.

Das eingesetzte Auswertungsschema sollte nach den Ausführungen in Kapitel 4.5 zu einer möglichst validen und reliablen Bewertung der CM-Daten geführt haben, wobei seine Objektivität wegen des offenen Charakters etwas eingeschränkt ist, wie die Ergebnisse des Interrater-Vergleichs erkennen lassen. Es liegt ungeachtet dessen dennoch ein für die offene Concept-Mapping-Variante hinreichendes Maß an Interrater Agreement und Interrater Reliabilität vor. Es ist insgesamt zu beachten, dass die in dieser Arbeit ermittelten CM-Leistungen im Rahmen eines spezifischen Auswertungsschemas zustande gekommen sind, dessen spezifische Punktevergabe in die konkret vorliegenden Ergebnisse eingeflossen ist; die Reproduzierbarkeit sollte deshalb nur bei einem vergleichbaren Schema möglich sein. Bei der CM-Auswertung hat sich die Vergabe von Punkten für sonstige systemrelevante Inhalte und Strukturen als ein notwendiger Ansatz gezeigt, um auch diese Aspekte des repräsentierten Systemwissens zu erfassen und in eine verzerrungsfreie Auswertung einfließen zu lassen.

Abschließend ist festzuhalten, dass die gesamte Untersuchung infolge der verschiedenen Maßnahmen mit einer ausreichenden internen Validität durchgeführt worden sein sollte. Hingegen ist mit Blick auf die externe Validität eine begrenzte Aussagekraft für die unmittelbare Unterrichtspraxis anzunehmen, die insbesondere aus dem außerschulischen Umfeld der Untersuchung hervorgeht. Es ist ferner davon auszugehen, dass keine Repräsentativität jenseits von Kursstufenschüler/innen mit vergleichbaren Merkmalen besteht. Das Ausmaß von untersuchungsbedingten Einwirkungen auf die Leistungen durch Motivationseinbußen, Ermüdungseffekte oder andere Einflüsse der Interventionseinheit (vgl. Kapitel 7.4.2) lässt sich nicht abschätzen. Dass die wegen der Zielsetzung dieser Arbeit und als Störvariablenkontrolle durchgeführten Methodentrainings eine notwendige Maßnahme gewesen sind, deutet das Antwortverhalten bei den diesbezüglichen Items an.

8.1 Schlussfolgerungen für die schulische (BNE-)Praxis

Wie die Untersuchungsergebnisse in dieser Arbeit andeuten, könnte für die schulische (BNE-)Praxis v.a. ein hochaufgelöstes (digitales) Luftbild, das durch ein hochaufgelöstes (digitales) Satellitenbild ersetzt werden kann, förderlich sein für die systemische Erschließung von Erdräumen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. Die grundsätzliche unterrichtliche Bedeutung der Raumanalyse mittels Fernerkundungsprodukten wie Luft- und Satellitenbildern in der 9./10. Klasse und darüber hinaus wird auch im geographiebezogenen Teil des zum 01.08.2016 in Kraft getretenen neuen Bildungsplans für Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016) deutlich. Als Erkenntnis aus der durchgeführten Intervention erscheint es insgesamt möglich, den bisher i.d.R. in späteren Unterrichtsphasen stattfindenden Einsatz (in der Kursstufe) bei grundlegenden methodischen Kenntnissen durchaus stärker an den Unterrichtseinstieg vorziehen, wobei auf die Wahrnehmung nicht systemrelevante Aspekte und ihre Integration in das mentale Systemmodell zu achten ist. Neben der Verwendung einzelner Bilder hat sich im Rahmen der Intervention des Weiteren gezeigt, dass die Zusammenfassung mehrerer Bilder im Rahmen einer animationsähnlichen Bedingung am Computer dazu beitragen kann, dass Systemaspekte in der räumlichen und zeitlichen Dimension (besser) wahrgenommen werden. Dies kann nach einer entsprechenden Einführung gefördert werden durch die Möglichkeit zum Wechsel der Kanalkombination am Computer, wodurch auch die in Kapitel 2.4.2.2 dargestellten Potenziale von Falschfarbenbildern (stärker) ausgenutzt werden können. In Abhängigkeit zum konkreten Unterrichtsthema bzw. dem betrachteten Erdraum sind im Zuge dieser Arbeit durchaus bestimmte Einsatzmöglichkeiten von digitalen Luft- und Satellitenbildern für den nachhaltigkeitsorientierten Geographieunterricht bzw. für die schulische BNE-Praxis ansatzweise ersichtlich geworden (vgl. Lindner-Fally 2012), die sich aus den Stärken dieses Mediums auf der inhaltlichen Ebene (Lesbarkeit, Vorwissensaktivierung) wie auch den begleitenden Implikationen auf der

motivationale Ebene heraus zu ergeben scheinen. Infolge technologischer Weiterentwicklungen in der Fernerkundung (Ban 2016: 1ff.) und der zu erwartenden, zunehmenden Verfügbarkeit von frei zugänglichen Luft- und Satellitenbilddaten (vgl. Kapitel 1), die z.B. über den Einsatz virtueller Globen mit ihren inzwischen dreidimensionalen, noch realistischeren Raumdarstellungen Eingang in den Unterricht finden können (vgl. u.a. Scheidl 2009), sollte es in einem alters-/entwicklungsgemäßen Rahmen möglich sein, für Kursschüler/innen die Bedeutung des Einsatzes dieses Mediums im Nachhaltigkeitskontext unmittelbar erfahrbar werden zu lassen.

Ungeachtet der eingeschränkten Aussagekraft und der begrenzten Repräsentativität hat die Untersuchung des Weiteren gezeigt, dass Kursstufenschüler/innen prinzipiell auch beim offenen Concept Mapping in einem interindividuell differenzierten Maße ihr Systemwissen repräsentieren können[213]. In dieser Hinsicht erscheint, wie sich in dieser Arbeit angedeutet hat, u.a. die individuelle Fähigkeit zum Denken in Relationen bzw. in verschiedenen Relationsarten von Bedeutung, die auf das systemische Denken einwirkt. Da Schüler/innen systemisches Denken auch über nachhaltigkeitsorientierte bzw. geographische Kontexte hinaus adäquat beherrschen sollen, sollte die in der Forschung zum systemischen Denken geforderte Ausweitung seiner unterrichtlichen Förderung in der schulischen (BNE-)Praxis weiter vorangetrieben werden. Dies korrespondiert mit dem geographiebezogenen Teil des neuen Bildungsplans für Gymnasien (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016). Konkrete Materialien für die unterrichtliche Umsetzung bietet z.B. die Ausgabe 4/2014 der geographiedidaktischen Zeitschrift *Praxis Geographie* (Mehren et al. 2014) und ein auf Simulationsspielen beruhender Ansatz findet sich in Ohl & Klebel (2012). Dass das Erlernen einer systemischen Denkweise im Rahmen der Einübung formaler Systemanalyseschritte und der Verwendung darauf ausgerichteter Darstellungstechniken im Schulunterricht erfolgreich gefördert werden kann, zeigen bisherige Erfahrungen (vgl. Kapitel 2.2.3); aktuelle Auseinandersetzungen hierzu im Kontext verschiedener Unterrichtsfächer finden sich in Arndt (2017). Der Einsatz sollte dabei nicht zu spät in der schulischen Laufbahn ansetzen (vgl. u.a. Jüngst & Strittmatter 1995; Kinchin 2000), um der Entwicklung der bei Raia (2005) angeführten internalisierten Lernstrategien frühzeitig zu begegnen. Durch den wiederholten Einsatz von CMs sowohl als unterrichtliches Lern- wie auch als Diagnoseinstrument kann die Verwendung derartiger systemischer Darstellungswerkzeuge, und mit ihnen das systemische Denken an sich, mit der Zeit internalisiert und beherrscht werden (Jüngst & Strittmatter 1995).

Die in dieser Arbeit eingesetzte offene Concept-Mapping-Variante ist kognitiv herausfordernd und z.T. auch überfordernd, wobei zwischenzeitlich eingestreute Abrufhinweise dem u.U. positiv entgegenwirken können. Der in dieser Arbeit verwendete Modifikationsansatz kann z.B. über mehrere Unterrichtseinheiten hinweg dazu genutzt werden, einerseits den Schüler/innen ihren eigenen Lernprozess vor Augen zu führen und andererseits die (übergeordneten) Zusammenhänge zwischen verschiedenen Unterrichtsthemen zu verdeutlichen. Der Abgleich mit einem Referenznetz sollte dabei objektivere und transparentere Bewertungsgrundlagen schaffen und dann motivierend wirken, wenn Raum gelassen wird für die Vergabe von zusätzlichen Punkten für sonstige richtige Inhalte und Strukturen.

8.2 Implikationen für die weitere Forschung

Aufbauend auf den in dieser Arbeit vorliegenden Selbstauskünften ist angenommen worden, dass die häufigere Möglichkeit zur Vorstellung der raumzeitlichen Dynamik des Braunkohleabbaus und der dadurch hervorgerufenen Veränderungen im Bereich der drei Nachhaltigkeitsdimensionen seitens der

[213] Da in der schulischen (BNE-)Praxis durchaus Abrufhinweise gesetzt werden können, ist hieraus eine insgesamt bessere Leistung sowohl beim Concept Mapping selbst als auch in Verbindung mit einer visuellen Auswertung anzunehmen.

UG mit der hohen Raumauflösung des Luftbildes in Verbindung steht. In seiner Vergleichsstudie stellte Wastl (2000) fest, dass sich Luftbilder besonders gut für die Erkennung von größeren, natürlichen Objekten in einem offenen Gelände eignen, während Strichkarten bei kleinflächigeren, weniger gut erkennbaren Objekten, v.a. in verdichteten Räumen, vorteilhafter sind. Im diesem Zusammenhang besteht weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die spezifischen Einsatzstärken. Auch in diesem Kontext könnte sich der Einsatz der Methode des Lauten Denkens (Konrad 2010) als Herangehensweise vorteilhaft erweisen und durch eine detaillierte Inhaltsanalyse von CMs jenseits von Wertigkeit und sinngemäßer Übereinstimmung flankiert werden.

Die Potenziale für die Erschließung von (großräumigen) raumzeitlichen Veränderungen im Rahmen der visuellen Auswertung von durchweg hochaufgelösten Bildern sowie von Animationen mit einer größeren Anzahl an Aufnahmezeitpunkten bieten weitere Ansatzpunkte für zukünftige Arbeiten, um die Einsatzmöglichkeiten von digitalen Luft- und Satellitenbildern in der schulischen (BNE-)Praxis weiter zu erforschen. Dies betrifft auch die relative Wirksamkeit im Verhältnis zu verfügbaren thematischen Karten, um das jeweilige Wirkungspotenzial optimal unterrichtlich ausnutzen zu können.

Des Weiteren kann eine dezidierte Analyse des repräsentierten Anteils an Primär-, Sekundär- und Tertiärinformationen dazu beitragen, tiefere Einblicke in das relative Ausmaß ihrer Erschließung und damit in das Denken über ein Bild hinaus zu erlangen.

Über den Aspekt der untersuchten Luft- und Satellitenbilder hinaus bieten die verschiedenen Bestandteile und Elemente des in dieser Arbeit verfolgten forschungsmethodischen Operationalisierungsansatzes weitere Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsarbeiten, um zu noch genaueren bzw. umfassenderen Erkenntnissen zu gelangen. Dies betrifft u.a. die Berücksichtigung und Erfassung weiterer personaler Aspekte wie z.B. das Selbstkonzept oder die Intelligenz, die auch in dieser Arbeit einen Einfluss besessen haben können. Eine Betrachtung aus der Sicht der Conceptual-Change-Forschung (siehe hierzu u.a. in Reinfried 2010) erscheint für die Gewinnung von tieferen Einblicken in Veränderungsprozesse im Bereich der inhaltlichen wie raumzeitlichen Vorstellungen über die Merkmale und das Wesen von Systemen ebenso lohnenswert, wobei in diesem Kontext die offene Concept-Mapping-Variante in Verbindung mit dem Modifikationsansatz u.U. validere Erkenntnisse erbringen kann. Jedoch bedarf es bezüglich dieser Variante weiterer Forschung, um die Vor- und Nachteile gegenüber dem klassischen Prätest-Posttest-Ansatz samt Implikationen zu ermitteln. Die Möglichkeit zur Aufzeichnung der Aktivitäten beim Concept Mapping in der Software CmapTools könnte diesbezüglich einen vielversprechenden Ansatzpunkt darstellen. Mit Blick auf das potenziell aufgetretene reaktive Verhalten kann der parallele Einsatz des Lauten Denkens u.U. auch hier dazu beitragen, Einblicke in dessen Ausmaß zu erhalten.

Die Diagnose des individuellen Systemwissens ist in dieser Arbeit auf der Grundlage eines einzigen Erhebungsinstruments durchgeführt worden. Sich daraus statistisch ergebende Implikationen konnten mit der Reduzierung der Anzahl an Auswertungsgrößen abgemildert werden, auch wenn dadurch die Identifikation der verschiedenen Fähigkeiten v.a. auf der Wertigkeitsebene erfolgt ist. Es ist daher denkbar, anstelle des Werts die Anzahl zu fokussieren, da korrespondierende und systemrelevante Konzepte und Sinneinheiten in einem bestimmten Verhältnis zueinander Punkte erhalten; hierbei sind u.U. Verzerrungen durch die Punktevarianz zwischen vollständig und unvollständig repräsentierten Konzepten und Sinneinheiten zu beachten. Um der Notwendigkeit zur Reduktion von vornherein zu begegnen, kann die Erfassung jeder einzelnen Fähigkeit über speziell entwickelte Items wie bei Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010), Sommer (2005), Rempfler & Uphues (2010, 2011) oder Viehrig & Kollegen (Viehrig et al. 2011; Viehrig et al. 2012; Viehrig 2015) erfolgen. Inwiefern dies jedoch ohne

Überschneidung möglich ist, wenn die Erfassung im Kontext nur eines einzigen Systems als Betrachtungsgegenstand steht, erscheint v.a. im Bereich der Repräsentation der Systemstruktur (wenn Elemente, Beziehungen und Prozesse ebenfalls separat erfasst werden) unklar. Zukünftige Arbeiten können hier möglicherweise zur Aufklärung beitragen. Dies gilt ebenso für die Untersuchung weiterer Systemaspekte, die aufgrund des hier gewählten Systems nicht erfasst wurden. Hierbei erscheint das über die Prognose der Systementwicklung hinaus allgemein bedeutsame vorausschauende Denken als ein wichtiger Untersuchungsgegenstand für zukünftige Arbeiten. Die Frage nach der Einsetzbarkeit von CMs als Diagnoseinstrument bei noch komplexeren bzw. dynamischen Systemen lässt ebenso Raum für zukünftige Arbeiten.

Literaturverzeichnis

Acton, W.H., Johnson, P.J. & Goldsmith, T.E. (1994): Structural Knowledge Assessment: Comparison of Referet Structure. *Journal of Educational Psychology* 86 (2). 303–311.

Adamina, M. & Wyssen, H.-P. (2005): Panorama - Raum und Zeit. Themenheft, Klassenmaterial und Hinweise für Lehrpersonen. Schulverlag blmv. Bern.

Åhlberg, M. (2004a): Concept Mapping for sustainable development. In: Cañas, A.J., Novak, J.D. & González, F.M. (Hg.): Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. First International Conference on Concept Mapping. 14-17 September 2004. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. 39–44.

Åhlberg, M. (2004b): Varieties on Concept Mapping. In: Cañas, A.J., Novak, J.D. & González, F.M. (Hg.): Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. First International Conference on Concept Mapping. 14-17 September 2004. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. 25–28.

Åhlberg, M. (2008): Practical methods and techniques of knowledge representation in particular those related to concept mapping and mind mapping. History, theoretical background, software, and comparison table. Invited discussion paper. Instructional Technology Forum, ITForum, The University of Georgia, 10. 10. - 17. 10. 2008.

Albertz, J. (2009): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. WBG Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt. 4. Auflage.

Alean, J. & Biber, T. (2005): Entdeckendes Lernen mit Satellitenbildern. Eine "halb-offene" Unterrichtseinheit. *Geographie heute* 26 (235). 35–37.

Anderson, J.R. (1984): Some Reflections on the Acquisition of Knowledge. *Educational Researcher* 13 (9). 5–10.

Anderson, J.R. (2007): Kognitive Psychologie. In: Joachim Funke (Hg.). Spektrum Akademischer Verlag. Berlin. 6. Auflage.

Anderson, L.W., Krathwohl, D.R., Airasian, P.W., Cruikshank, K.A., Meyer, R.E. & Pintrich, P.R. (2001): A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. Addison Wesley Longman. New York.

Anohina, A. & Grundspenkis, J. (2009): Scoring Concept Maps: an Overview. In: Boris Rachev und Angel Smrikarov (Hg.): CompSysTech '09. Proceedings of the 10th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing. Ruse, Bulgaria — June 18 - 19, 2009. ACM International Conference Proceeding Series, 433), IV.8-1 - IV.8-6. Association for Computing Machinery Press. New York.

Arndt, H. (Hg.) (2017): Systemisches Denken im Fachunterricht. FAU Lehren und Lernen, 2. FAU University Press. Erlangen.

Aschbacher, J. & Milagro-Pérez, M.P. (2012): The European Earth monitoring (GMES) programme: Status and perspectives. *Remote Sensing of Environment* 120. 3–8.

Ausubel, D.P. (2000): The Acquisition and Retention of Knowledge. A Cognitive View. Kluwer Academic. Dordrecht.

Baddeley, A.D. (2001): Is Working Memory Still Working? *American Psychologist* 56 (11). 849–864.

Baguley, T. (2009): Standardized or simple effect size: What should be reported? *British Journal of Psychology* (100). 603–617.

Bahr, M. (2013a): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). In: Rolfes, M. & Uhlenwinkel, A. (Hg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Didaktische Impulse. Westermann. Braunschweig. 17–23.

Bahr, M. (2013b): Der Vielfalt mit Vielfalt begegnen - Binnendifferenzierung im Geographieunterricht. *Praxis Geographie* (6). 4–9.

Ballstaedt, S.-. (1997): Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Beltz PsychologieVerlagsUnion. Weinheim.

Ban, Y. (2016): Multitemporal Remote Sensing: Current Status, Trends and Challenges. In: Ban, Y. (Hg.): Multitemporal Remote Sensing. Methods and Applications. Remote sensing and digital image processing, 20. Springer International Publishing. Cham. 1–18.

Bandura, A. (1977): Self-efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. *Psychological Review* 84 (2). 191–215.

Bär, O. (1977): Karte - Luftfoto - Satellitenbild. und ihre Verwendung im Unterricht. *Geographica Helvetica* (3). 145–150.

Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A. & Krees, S. (2015): Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis. Springer Spektrum. Berlin/Heidelberg. 2. Auflage.

Barth, M. (2006): Lernen mit Neuen Medien – ein Weg für die Bildung für eine nachhaltige Entwicklung? In: Rieß, W. & Apel, H. (Hg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Aktuelle Forschungsfelder und -ansätze. Schriftreihe "Ökologise und Erziehungswissenschaft" der Kommission Bildung für eine nachhaltige Entwicklung der DGfE. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH. Wiesbaden. 69–80.

Barth, M. (2007): Gestaltungskompetenz durch Neue Medien? Die Rolle des Lernens mit Neuen Medien in der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Umweltkommunikation, 4. BMV Berliner Wissenschafts-Verlag GmbH. Berlin.

Barth, M. (2008): Das Lernen mit Neuen Medien als Ansatz zur Vermittlung von Gestaltungskompetenz. In: Bormann, I. & de Haan, G. (Hg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage. Wiesbaden. 199–213.

Bastian, J. (2016): Binnendifferenzierung. *Pädagogik* (9). 6–9.

Bauer, H.J. (1998): Naturschutz und Landschaftspflege. In: Pflug, W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 171–178.

Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M. Schiefele, U. & Schneider, W. (Hg.) (2001): PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Leske + Budrich. Opladen.

Beckel, L. & Winter, R. (Hg.) (1989): Satellitenbilder im Unterricht. Orbit-Verlag. Bonn.

Bell, T. (2004): Komplexe Systeme und Strukturprinzipien der Selbstregulation – Konstruktion grafischer Darstellungen, Transfer und systemisches Denken. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10. 183–204.

Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995): Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Pwerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 57 (1). 289–300.

Benjamini, Y., Krieger, A.M. & Yekutieli, D. (2006): Adaptive linear step-up procedures that control the false discovery rate. *Biometrika* 93 (3). 491–507.

Ben-Zvi Assaraf, O. & Orion, N. (2005): Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. *Journal of Research in Science Teaching* 42 (5). 518–650.

Ben-Zvi Assaraf, O. & Orion, N. (2010): System Thinking Skills at the Elementary School Level. *Journal of Research in Science Teaching* 47 (5). 540–563.

Bernd, H., Hippchen, T. & Strittmatter, P. (2000): Durcharbeiten von Begriffsstrukturdarstellungen in unterrichtlichen und computergestützten Lernumgebungen. In: Heinz Mandl und Frank Fischer (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Hogrefe Verlag für Psychologie. Göttingen. 15–36.

Bernhard, A. (2012): Pädagogisches Denken. Einführung in allgemeine Grundlagen der Erziehungs- und Bildungswissenschaft. Pädagogik und Politik, 1. Schneider-Verlag Hohengehren. Baltmannsweiler. 5. Auflage.

Bernstein, D.A., Penner, L.A., Clarke-Stewart, A. & Roy, E.J. (2012): Psychology. Cengage Learning. Wadsworth. Belmont. 9th Edition.

Bertelsmann Stiftung (Hg.) (2009): Jugend und die Zukunft der Welt. Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage in Deutschland und Österreich „Jugend und Nachhaltigkeit“. Güterloh/Wien.

Bertschy, F. (2007): Vernetztes Denken in einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Interventionsstudie zur Förderung vernetzten Denkens bei Schülerinnen und Schülern der 1. und 2. Primarschulstufe. Dissertation. Philosophisch-humanwissenschaftliche Fakultät. Universität Bern. Bern

Bertschy, F. (2008): Vernetztes Denken in der Grundschule fördern. *Umweltpsychologie,* 12 (2). 71–90.

Bertschy, F., Gingins, F., Künzli, C., Di Giulio, A. & Kaufmann-Hayoz, R. (2007): Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der obligatorischen Schule. Schlussbericht zum Expertenmandat der EDK: „Nachhaltige Entwicklung in der Grundschulausbildung – Begriffsklärung und Adaption“. Bern/Lausanne.

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH (2008a): Diercke Drei Universalatlas. Erdkunde - Geschichte - Wirtschadt - Politik. Braunschweig.

Bildungshaus Schulbuchverlage Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH (2008b): Diercke Weltatlas. Braunschweig.

BLK (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung) (Hg.) (1998): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Orientierungsrahmen. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, Heft 69. Bonn.

BLK (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung) (Hg.) (2005): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung ("21"). Abschlussbericht des Programmträgers zum BLK-Programm. BLK-Programm "21", Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, 123. Bonn.

BLK-Programm "21" (2003): Orientierungshilfen für die Erstellung einer Präambel und Empfehlungen / Richtlinien zur „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ in allgemein bildenden Schulen. Hg. v. BLK-Programm „21“ – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK). Berlin.

Bloom, B.S., Engelhardt, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H. & Krathwohl, D.R. (1956): Taxonomy of Educational Objectives. The classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain. Longmans. New York.

Blume, E. & Klein, R. (2013): Energie. In: Rolfes, M. & Uhlenwinkel, A. (Hg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Didaktische Impulse. Westermann. Braunschweig. 247–254.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2002): Bericht der Bundesregierung zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Bonn.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2009): Bericht der Bundesregierung zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Berlin.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2010): Kompetenzen in einer digital geprägten Kultur. Medienbildung für die Persönlichkeitsentwicklung, für die gesellschaftliche Teilhabe und für die Entwicklung von Ausbildungs- und Erwerbsfähigkeit. Bonn/Berlin.

BMWI (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.

Bögeholz, S., Schmidt, V., Barkmann, J. & Eigner, S. (2002): Gutachten für ein Konzept „Bildung für Nachhaltige Entwicklung in Schleswig-Holstein. Außerschulischer Bereich. Endbericht. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel.

Bollmann, J. (1992): Raumvorstellung und Kartenwahrnehmung. In: Brogiato, H.P. & Cloß, H.-M. (Hg.): Geographie und ihre Didaktik. Festschrift für Walter Sperling. Teil 2: Beiträge zur Geschichte, Methodik und Didaktik von Geographie und Kartographie. Materialien zur Didaktik der Geographie, 16. Trier. 349–362.

Bollmann-Zuberbühler, B. (2008): Lernwirksamkeitsstudie zum systemischen Denken an der Sekundarstufe I. In: Frischknecht-Tobler, U., Nagel, U. & Seybold, H. (Hg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich. Zürich. 99–118.

Bollmann-Zuberbühler, B. & Kunz, P. (2008): Ist systemisches Denken lehr- und lernbar? In: Frischknecht-Tobler, U., Nagel, U. & Seybold, H. (Hg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich. Zürich. 33–52.

Boone, Jr., H.N. & Boone, D.A. (2012): Analyzing Likert Data. *Journal of Extension* 50 (2).

Booth Sweeney, L. & Sterman, J.D. (2000): Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review* 16 (4). 249–286.

Booth Sweeney, L. & Sterman, J.D. (2007): Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review* 23 (2/3). 285–312.

Bortz, J. & Döring, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer. Heidelberg. 4. Auflage.

Bortz, J. & Schuster, C. (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Lehrbuch mit Online-Materialien. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg. 7. Auflage.

Bossel, H. (2004): Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Books on Demand. Norderstedt.

Bovet, G. (2011): Wissenserwerb und Problemlösen. In: Bovet, G. & Huwendiek, V. (Hg.): Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrberuf. Cornelsen Scriptor. Berlin. 6. Auflage. 221–255.

Brand, M. & Markowitsch, H.J. (2009): Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive - Konsequenzen für die Gestaltung des Schulunterrichts. In: Herrmann, U. (Hg.): Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen. Beltz-Pädagogik. Beltz. Weinheim. 2. Auflage. 69–85.

Brandstädter, K., Harms, U. & Großschedl, J. (2012): Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices. *International Journal of Science Education* 34 (14). 2147–2170.

Bräutigam, J.I. (2014): Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit. Dissertation. Institut für Psychologie. Pädagogische Hochschule Freiburg i. Br.. Freiburg i. Br.

Breiting, S., Mayer, M. & Morgensen, F, (2005): Qualitätskriterien für BNE-Schulen. Bildung für Nachhaltige Entwicklung in Schulen – Leitfaden zur Entwicklung von Qualitätskriterien. Hg. v. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur. Wien.

Brucker, A. (2006a): Der funktionsgerechte Einsatz von Medien im Geographieunterricht. In: Haubrich, H. (Hg.): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage. 174–175.

Brucker, A. (2006b): Luft- und Satellitenbilder. In: Haubrich, H. (Hg.): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage. 178–179.

Brühne, T. & Tempel, M. (2015): Urlaub am Baggersee? Bergbaufolgelandschaften im Lausitzer Braunkohlenrevier. *Praxis Geographie* 45 (1). 10–15.

Brunner, E. & Munzel, U. (2013): Nichtparametrische Datenanalyse. Unverbundene Stichproben. Statistik und ihre Anwendungen. Springer Spektrum.Berlin/Heidelberg. 2. Auflage.

Budke, A. & Kuckuck, M. (Hg.) (2017): Sprache im Geographieunterricht. Bilinguale und sprachsensible Materialien und Methoden. Waxmann. Münster.

Buerschaper, C. (1996): Über die Schwierigkeiten beim Umgang mit Komplexität - Denken und Handeln in komplexen Systemen aus psychologischer Sicht. In: Flath, M. & Fuchs, G. (Hg.): In Systemen denken lernen - fachdidaktische Aspekte für den Geographieunterricht. Drittes Gothaer Forum zum Geographieunterricht 1995. Perthes. Gotha. 40–53.

BUND NRW (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland Landesverband Nordrhein-Westfalen e.V.) (2015): Braunkohle im Rheinland. Garzweiler II. Düsseldorf.

Bundesministerium für Forschung und Technologie (1990): Global Change. Unsere Erde im Wandel. Bonn.

Bundesministerium für Forschung und Technologie (1992): Unsere Welt im Wandel. Bonn.

Bundesregierung (30.05.2011): Pressekonferenz zum Energiekonzept der Bundesregierung mit Bundeskanzlerin Merkel, BM Rösler, BM Röttgen und BM Ramsauer. Berlin.

Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. Berlin.

Bundesregierung (2013): Bericht der Bundesregierung zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. 17. Legislaturperiode. Berlin (Drucksache 17/14325).

Buskirk, T.D., Willoughby, L.M. & Tomazic, T.J. (2013): Nonparametric Statistical Techniques. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 2 Statistical Analysis. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 106–141.

Buttermann, H.G., Freund, F. & Hillebrand, E. (2010): Bedeutung der rheinischen Braunkohle – sektorale und regionale Beschäftigungs- und Produktionseffekte. Untersuchung im Auftrag der RWE Power AG. EEFA – Energy Environment Forecast Analysis GmbH & Co. KG. Energie und Umwelt Analysen, 43. Münster/Berlin.

Campbell, J. & Wynne, R. (2011): Introduction to Remote Sensing. Guilford Press. New York. 5th Edition.

Cañas, A.J., Coffey, J.W., Carnot, M.J., Feltovich, P., Hoffman, R.R., Feltovich, J. & Novak, J.D. (2003): A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support. The Institute for Human and Machine Cognition. Pensacola.

Carifio, J. & Perla, R. (2008): Resolving the 50-year debate around using and misusing Likert scales. *Medical Education* 42 (12). 1150–1152.

Cassel-Gintz, M. & Harenberg, D. (2002): Syndrome des Globalen Wandels als Ansatz interdisziplinären Lernens in der Sekundarstufe. Ein Handbuch mit Basis- und Hintergrundmaterial für Lehrerinnen und Lehrer. Werkstattmaterialien Bildung für eine nachhaltige Entwicklung., 1. Hg. v. BLK-Programm "21". Berlin.

Cassidy, S. & Eachus, P. (2002): Developing the Computer User Self-Efficacy (CUSE) Scale: Investigating the Relationship between Computer Self-Efficacy, Gender and Experience with Computers. *Journal of Educational Computing Research* 26 (2). 133–153.

Chandler, P. & Sweller, J. (1991): Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction* 8 (4). 293–332.

Chernobai, A. & Rachev, S. (2006): Applying robust methods to operational risk modeling. *Journal of Operational Risk* (1). 27–41.

Claaßen, K. (1997a): Arbeit mit Karten. *Praxis Geographie* (11). 4–9.

Claaßen, K. (1997b): „Top“ im Kartenlesen. *Praxis Geographie* (11). 22–25.

Clark, D., Reynolds, S., Lemanowski, V., Stiles, T. & Yaşar-Purzer, S. (2008): University Students' Conceptualization and Interpretation of Topographic Maps. *International Journal of Science Education* 30 (3). 375–406.

Clason, D.L. & Dormody, T.J. (1994): Analyzing Data Measured by Individual Likert-Type Items. *Journal of Agricultural Education* 35 (4). 31–35.

Cohen, J. (1960): A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement* XX (1). 37–46.

Cohen, J. (1988): Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale. 2nd Edition.

Collins, A.M. & Quillian, M.R. (1969): Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 8 (2). 240–247.

Conlon, T. (2006): Formative Assessment of Classroom Concept Maps: The Reasonable Fallible Analyser. *Journal of Interactive Learning Research* 17(1). 15–36.

Consentius, H. & de Haan, G. (2011): Kurzexpertise zum Thema „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. für das Forschungsvorhaben „Rio+20 vor Ort Bestandsaufnahme und Zukunftsperspektiven lokaler Nachhaltigkeitsprozesse in Deutschland, Projektphase I“. Institut Futur. Freie Universität Berlin. Berlin.

Corder, G.W. & Foreman, D.I. (2009): Nonparametric Statistics for Non-Statisticians. A Step-by-Step Approach. John Wiley & Sons. Hoboken.

Cronin, P.J., Dekkers, J. & Dunn, J.G. (1982): A procedure for using and evaluating concept maps. *Research in Science Education* (12). 17–24.

da Rocha, F.E.L.; Da Costa Junior, J.V. & Favero, E.L. (2008): An Approach to Computer-Aided Learning Assessment. In: Cañas, A.J., Reiska, P. & Åhlberg, M. (Hg.): Concept Mapping: Connecting Educators. Proceedings of the Third International Conference on Concept Mapping. Tallinn/Helsinki. 170–177.

Dacin, P.A. & Mitchell, A.A. (1986): The Measurement of Declarative Knowledge. *Advances in Consumer Research Volume* 13. 454–459.

Daley, B.J., Conceição, S.C.O., Mina, L., Altman, B.A.; Baldor, M. & Brown, J. (2010): Concept Mapping: A Strategy to Support the Development of Practice, Research, and Theory Within Human Resource Development. *Human Resource Development Review* 9 (4). 357–384.

de Haan, G. (2001): Was meint "Bildung für nachhaltige Entwicklung" und was können eine globale Perspektive und neue Kommunikationsmöglichkeiten zur Weiterentwicklung beitragen? In: Herz, O., Seybold, H. & Strobl, G. (Hg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Globale Perspektiven und neue Kommunikationsmedien. Leske + Budrich. Opladen. 29–45.

de Haan, G. (2002): Die Kernthemen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik* 25 (1). 13–20.

de Haan, G. (2004): Politische Bildung für Nachhaltigkeit. *Politik und Zeitgeschichte* (7-8). 39–46.

de Haan, G. (2008): Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: Bormann, I. & de Haan, G. (Hg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage. Wiesbaden. 23–43.

de Haan, G. & Gerhold, L. (2008): Bildung für nachhaltige Entwicklung – Bildung für die Zukunft. Einführung in das Schwerpunktthema. *Umweltpsychologie,* 12 (2). 4–8.

de Haan, G. & Harenberg, D. (1999): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Gutachten zum Programm. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, Heft 72. Hg. v. Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK). Bonn.

de Haan, G., Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G., & Nutzinger, H.G. (2008): Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen. Ethics of Science and Technology Assessment, 33. Springer. Berlin/Heidelberg.

de Haan, G. & Seitz, K. (2001a): Kriterien für die Umsetzung eines internationalen Bildungsauftrages. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (Teil 1). *21 - Das Leben gestalten lernen* (1). 58–62.

de Haan, G. & Seitz, K. (2001b): Kriterien für die Umsetzung eines internationalen Bildungsauftrages. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (Teil 2). *21 - Das Leben gestalten lernen* (1). 63–66.

Debes, J.L. (1969): The Loom of Visual Literacy. *Audiovisual Instruction* 14 (8). 25–27.

DEBRIV (Bundesverband Braunkohle) (2015): Braunkohle in Deutschland 2015. Profil eines Industriezweiges. Köln.

Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschtift für Pädagogik* 39 (2). 223–228.

Derbentseva, N., Safayeni, F. & Cañas, A.J. (2004): Experiments on the Effects of Map Structure and Concept Quantification During Concept Map Construction. In: Cañas, A.J., Novak, J.D. & González, F.M. (Hg.): Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. 14-17 September 2004. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. 125–134.

Derbentseva, N., Safayeni, F. & Cañas, A.J. (2006): Two Strategies For Encouraging Functional Relationships in Concept Maps. In: Cañas, A.J. & Novak, J.D. (Hg.): Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the Second International Conference on Concept Mapping, Bd. 1. 5-8 September 2006. San José. 582–589.

Deutscher Bundestag (2000): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (19. Ausschuss). zum Antrag der Abgeordneten Ursula Burchardt, Ulrike Mehl, Adelheid Tröscher, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD sowie der Abgeordneten Matthias Berninger, Dr. Uschi Eid, Hans-Josef Fell, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Drucksache, 14/1353. Berlin.

DGfE (Deutsche Gesellschaft für Erziehungswissenschaft) (2004): Forschungsprogramm "Bildung für eine nachhaltige Entwicklung". Hg. v. Kommission "Bildung für eine nachhaltige Entwicklung". Lüneburg/Hannover.

DGfG (Deutsche Gesellschaft für Geographie) (2012): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss mit Aufgabenbeispielen. Bonn. 7. Auflage.

Di Giulio, A. (2004): Die Idee der Nachhaltigkeit im Verständnis der Vereinten Nationen. Anspruch, Bedeutung und Schwierigkeiten. Ethik in der Welt, 3. LIT Verlag. Münster.

Dickmann, F. & Diekmann-Boubaker, N. (2007): Kartenkompetenz in deutschen Schulen - Ergebnisse einer fallbezogenen Evaluierung von Schulkarten nach dem PISA-„Schock“. *Kartographische Nachrichten* (5) 267–276.

Dickmann, F. & Diekmann-Boubaker, N. (2008): Text oder Karte? Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zur Effektivität der Kartenarbeit im Geographieunterrich. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* 36 (1). 1–16.

Dickmann, F. & Diekmann-Boubaker, N. (2010): Untersuchungen zur Effektivität von thematischen Karten im Prozess der schulischen Wissensvermittlung. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (2). 89–101.

Diekmann-Boubaker, N. (2010): Untersuchungen zur Effektivität von thematischen Karten im Prozess der schulischen Wissensvermittlung. Dissertation. Fakultät für Geowissenschaften. Ruhr-Universität Bochum, Bochum.

Ditter, R. (2013): Die Wirksamkeit digitaler Lernwege in der Fernerkundung. Eine empirische Untersuchung zu Lernmotivation und Selbstkonzept bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe. Dissertation. Pädagogische Hochschule Heidelberg. Heidelberg.

Ditter, R. & Hupke, K.-D. (2012): Angewandte geograpische Fernerkundung - Teil 2: Shrimpsfarming in Honduras: Ein bedrohtes Paradies? *Geographie und Schule* 34 (199). 48–49.

Ditter, R., Michel, U. & Siegmund, A. (2012): Neue Medien - Möglichkeiten und Grenzen. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 214–235.

Doering, A. & Veletsianos, G. (2007): Authentic Learning with Geospatial Data: An Investigation of the use of Real-Time Authentic Data with Geospatial Technologies in the K-12 Classroom. In: Carlsen, R., McFerrin, K., Price, J., Weber, R. & Willis, D.A. (Hg.): Proceedings of SITE 2007. Society for Information Technology & Teacher Education International Conference. Chesapeake, USA, 2187–2193.

Domnick, I. (2004): Probleme sehen – Ansichtssache. Wahrnehmung von kartographischen Darstellungen als visuelle Kommunikationsmittel in der Entwicklungszusammenarbeit am Beispiel einer ländlichen Region in den Bale Mountains / Äthiopien. Dissertation. Fachbereich Geowissenschaften. Freie Universität Berlin. Berlin.

Dormann, C.F. (2013): Parametrische Statistik. Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R. Statistik und ihre Anwendungen. Springer Spektrum. Berlin.

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e.V.) (2005): Nationaler Aktionsplan für Deutschland. UN-Dekade "Bildung für nachhaltige Entwicklung" 2005-2014. Bonn.

DUK (Deutsche UNESCO-Kommission e.V.) (2013): Positionspapier „Zukunftsstrategie BNE 2015+“. Bonn.

Eckert, A. (1998): Kognition und Wissensdiagnose: Die Entwicklung und empirische Überprüfung des computerunterstützten wissensdiagnostischen Instrumentariums Netzwerk-Elaborierungs-Technik (NET). Pabst. Lengerich.

Ehrlinger, J., Johnson, K., Banner, M., Dunning, D. & Kruger, J. (2008): Why the Unskilled Are Unaware: Further Explorations of (Absent) Self-Insight Among the Incompetent. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 105 (1). 98–121.

Engelkamp, J. (1991): Das menschliche Gedächtnis. Das Erinnern von Sprache, Bildern und Handlungen. Verlag für Psychologie Hogrefe. Göttingen. 2. Auflage.

Engelkamp, J.s (1998): Gedächtnis für Bilder. In: Sachs-Hombach, K. & Rehkämper, K. (Hg.): Bild - Bildwahrnehmung - Bildverarbeitung. Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Studien zur Kognitionswissenschaft. Deutscher Universitäts-Verlag. Wiesbaden. 227–242.

Eppler, M.J. (2006): A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing. *Information Visualization* (5). 202–210.

Erceg-Hurn, D.M. & Mirosevich, V.M. (2008): Modern Robust Statistical Methods. An Easy Way to Maximize the Accuracy and Power of Your Research. *American Psychologist* 63 (7). 591–601.

Erceg-Hurn, D.M.; Wilcox, R.R. & Keselman, H.J. (2013): Robust Statistical Estimation. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 1 Foundations. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 388–406.

Erdfelder, E., Faul, F. & Buchner, A. (1996): GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 28. 1-11.

Ernst Klett Verlag GmbH (2007a): Haack Weltatlas. Stuttgart.

Ernst Klett Verlag GmbH (2007b): TERRA. Erdkunde Sekundarstufe II. Räume und Strukturen. Stuttgart.

Ernst Klett Verlag GmbH (2010): TERRA Erdkunde Oberstufe. Räume und Strukturen. Terra - Erdkunde S II Räume und Strukturen, Schülerband. Stuttgart. 2010 Auflage.

Ernst Klett Verlag GmbH (2012): TERRA. Wirtschaftsgeographie. Für Berufliche Gymnasien. Stuttgart.

Ernst Klett Verlag GmbH (2014): Fundamente. Geographie Oberstufe. Stuttgart.

Erpenbeck, J. & Heyse, V. (2007): Die Kompetenzbiographie. Wege der Kompetenzentwicklung. Waxmann. Münster. 2. Auflage.

Erpenbeck, J. & von Rosenstiel, L. (2007): Einführung. In: Erpenbeck, J. & von Rosenstiel, L. (Hg.): Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis. Schäffer-Poeschel. Stuttgart. 2. Auflage. XVII–XLVI.

Field, A. (2009): Discovering Statistics Using SPSS. SAGE Publications. Los Angeles. 3rd Edition.

Fischer, F. & Mandl, H. (2000): Strategiemodellierung mit Expertenmaps. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Hogrefe Verlag für Psychologie. Göttingen. 37–54.

Flath, M. (2012): Methodische Prinzipien. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 250–258.

Flath, M. & Fuchs, G. (Hg.) (1996): In Systemen denken lernen - fachdidaktische Aspekte für den Geographieunterricht. Drittes Gothaer Forum zum Geographieunterricht 1995. Perthes. Gotha.

Fleiss, J.L., Levin, B. & Paik, M.C. (2003): Statistical Methods for Rates and Proportions. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons. Hoboken. 3rd Edition.

Forrester, J.W. (2007): System dynamics - a personal view of the first fifty years. *System Dynamics Review* 23 (2/3). 345–358.

Frank, F. & Haversath, J.-B. (2012): Themen und Räume mit Medien verstehen. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 165–166.

Friedrich, H.F. & Mandl, H. (1997): Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: Weinert, F.E. & Mandl, H. (Hg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie I, 4. Hogrefe. Göttingen. 237–293.

Frischknecht-Tobler, U., Kunz, P. & Nagel, U. (2008): Systemdenken - Begriffe, Konzepte, Definitionen. In: Frischknecht-Tobler, U., Nagel,U. & Seybold, H. (Hg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich. Zürich. 11–31.

Frisk, E. & Larson, K.L. (2011): Educating for Sustainability. Competencies & Practices for Transformative Action. *Journal of Sustainability Education* (2).

Fuchs, T. & Wößmann, L. (2011): Computer können das Lernen behindern. *ifo Schnelldienst* 58 (18). 16–23.

Fürstenau, B. (2011): Concept Maps im Lehr-Lern-Kontext. *DIE Zeitschrift für Erwachsenenbildung* (1). 46–48.

Fuß, S. (2006): Familie, Emotionen und Schulleistung. Eine Studie zum Einfluss des elterlichen Erziehungsverhaltens auf Emotionen und Schulleistungen von Schülerinnen und Schülern. Internationale Hochschulschriften, 471. Waxmann. Münster.

Gaffga, P. (1997): Wir interpretieren eine thematische Karte. *Praxis Geographie* (11). 34–37.

García, L.V. (2004): Escaping the Bonferroni iron claw in ecological studies. *OIKOS* 105 (3). 657–663.

Georg Westermann Verlag GmbH (2010): Diercke. Die Welt im Wandel. Satellitenbildatlas. Braunschweig.

Gerber, W. & Reuschenbach, M. (2005): Fernerkundung im Unterricht. *Geographie heute* 26 (235). 2–8.

Girwidz, R. (2015): Multimedia unter lerntheoretischen Aspekten. In: Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Springer Spektrum. Berlin/Heidelberg. 3. Auflage. 843–878.

Gisev, N., Bell, J.S. & Chen, T.F. (2013): Interrater agreement and interrater reliability: Key concepts, approaches, and applications. *Research in Social and Administrative Pharmacy* (9). 330–338.

Goldsmith, T.E., Johnson, P.J. & Acton, W.H. (1991): Assessing Structural Knowledge. *Journal of Educational Psychology* 83 (1). 88–96.

Gouli, E., Gogoulou, A., Papanikolaou, K. & Grigoriadou, M. (2005): Evaluating Learner's Knowledge Level on Concept Mapping Tasks. In: Goodyear,P., Sampson, D.G., Yang, D. J.-T., Kinshuk, Okamoto, T., Hartley. R. & Chen, N.-S. (Hg.): The 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies 2005. Kaoshiung. 424–428.

Gräsel, C., Bormann, I., Schütte, K., Trempler, K., Fischbach, R. & Asseburg, R. (2012): Perspektiven der Forschung im Bereich Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Beiträge der Bildungsforschung, 39. Bonn/Berlin. 7–24.

Greenland, S., Senn, S.J., Rothman, K.J., Carlin, J.B., Poole, C., Goodman, S.N. & Altman, D.G. (2016): Statistical tests, p values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. *European Journal of Epidemiology* (31). 337–350.

Gross, D. & Friese, H. W. (2000): Geographie, Umwelterziehung und Bildung zur Nachhaltigkeit. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (3 & 4). 1–44.

Großschedl, J. (2009): Einfluss ausgewählter instruktionaler Maßnahmen auf Struktur und Niveau zellbiologischen Wissens. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

Gruber, H. & Mandl, H. (1996): Das Entstehen von Expertise. In: Hoffmann, J. & Kintsch, W. (Hg.): Enzyklopädie der Psychologie. Lernen, Kognition. Hogrefe (7). Göttingen. 583–615.

Gryl, I., Horn, M., Schweizer, K., Kanwischer, D. & Rhode-Jüchtern, T. (2010): Reflexion und Metaperspektive als notwendige Komponenten der Kartenkompetenz. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* 38 (3). 172–179.

Haas, H.-D. & Schlesinger, D.M. (2010): Bergbau, Energiewirtschaft und Energieversorgung. In: Kulke, E. (Hg.): Wirtschaftsgeographie Deutschlands. Spektrum. Heidelberg. 2. Auflage. 101–129.

Hallahan, M. & Rosenthal, R. (2000): Interpreting and Reporting Results. In: Tinsley, H.E.A. & Brown, S.D. (Hg.): Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling. Academic Press. San Diego. 125–149.

Hallgren, K.A. (2012): Computing Inter-Rater Reliability for Observational Data: An Overview and Tutorial. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology* 8 (1). 23–34.

Hantschel, R. (1985): Die Übertragung des systemanalytischen/-theoretischen Ansatzes auf räumliche Systeme. *Geographie und Schule* 7 (33). 8–15.

Harackiewicz, J.M. & Hullerman, C.S. (2010): The Importance of Interest: The Role of Achievement Goals and Task Values in Promoting the Development of Interest. *Social and Personality Psychology Compass* 4 (1). 42–52.

Harackiewicz, J.M. & Knogler, M. (2017): Interest. Theory and Application. In: Elliott, A.J., Dweck, C.S. & Yeager, D.S. (Hg.): Handbook of Competence and Motivation. Theory and Application. Guilford Publications. New York. 2nd Edition. 334–352.

Hardy, I. & Stadelhofer, B. (2006): Concept Maps wirkungsvoll als Strukturierungshilfen einsetzen. Welche Rolle spielt die Selbstkonstruktion? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 20 (3). 175–187.

Harenberg, D. (o.J.): Syndrome globalen Wandels als überfachliches Unterrichtsprinzip. Hg. v. BLK-Programm "21". Berlin.

Haspel, M. & Jahn, M. (2014): »GLOKAL Change«: Mit Satellitenbildern nicht nachhaltige Entwicklungen bewerten lernen. In: Michel, U., Siegmund, A., Ehlersm M., Jahn, M. & Bittner, A. (Hg.): Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Potenziale und Grenzen. oekom. München. 59–67.

Hasselhorn, M. & Gold, A. (2006): Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren. Kohlhammer Standards Psychologie. Kohlhammer. Stuttgart.

Hassenpflug, W. (2012): Verstehen, was wir sehen – Google Earth und Co machen möglich, wovon abgetretene Geo-Didaktiker träumten. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. Braunschweig. 252–259.

Haubrich, H. (Hg.) (2006): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage.

Haubrich, H., Reinfried, S. & Schleicher, Y. (2007): Luzerner Erklärung über Geographische Bildung für nachhaltige Entwicklung. Hg. v. Commission on Geographical Education of the International Geographical Union. Luzern.

Hauenschild, K. & Bolscho, D. (2009): Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. Ein Studienbuch. Umweltbildung und Zukunftsfähigkeit, 4. Peter Lang. Frankfurt am Main. 3. Auflage.

Haugwitz, M. & Sandmann, A. (2009): Kooperatives Concept Mapping in Biologie: Effekte auf den Wissenserwerb und die Behaltensleistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15. 89–107.

Häußler, P. (2015): Wie lässt sich der Lernerfolg messen? In: Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hg.): Physikdidaktik. Theorie und Praxis.: Springer Spektrum. Berlin/Heidelberg. 3. Auflage. 247–293.

Hawk, P.P. (1986): Using Graphic Organizers to Increse Achievement in Middle School Life Science. *Science Education* 70 (1). 81–87.

Hellerstein, J.M. (2008): Quantitative Data Cleaning for Large Databases. EECS Computer Science Division, UC Berkley. Los Angeles.

Hemmer, I. & Hemmer, M. (2010): Interesse von Schülerinnen und Schülern an einzelnen Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts – ein Vergleich zweier empirischer Studien aus den Jahren 1995 und 2005. In: Hemmer, I. & Hemmer, M. (Hg.): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Geographiedidaktische Forschungen, 46. Selbstverlag Hochschulverband für Geographie und ihre Didaktik e.V. Weingarten. 65–145.

Hemmer, I., Hemmer, M., Hüttermann, A. & Ullrich, M. (2010): Kartenauswertekompetenz – Theoretische Grundlagen und Entwurf eines Kompetenzstrukturmodells. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (3). 158–171.

Hemmer, I., Hemmer, M., Hüttermann, A. & Ullrich, M. (2012): Über welche grundlegenden Fähigkeiten müssen schülerinnen und Schüler verfügen, um eine Karte auswerten zu können? Auf dem Weg zu einem Kompetenzmodell zur Kartenauswertekompetenz. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. Braunschweig. 144–153.

Hemmer, I., Hemmer, M., Obermaier, G. & Uphues, R. (2008): Räumliche Orientierung. Eine empirische Untewrsuchung zur Relevanz des Kompetenzbereichs aus der Perspektive von Gesellschaft und Experten. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* 36 (1). 17–32.

Henkel, C. (2007): Garzweiler II. Planspiel: Energiereserve oder Umweltsünde? *Praxis Geographie* (9). 32–36.

Herl, H.E., O´Neil Jr., H.F., Chung, G.K.W.K. & Schacter, J. (1999): Reliability and validity of a computer-based knowledge mapping system to measure content understanding. *Computers in Human Behavior* 15. 315–333.

Herzig, R., Hüttermann, A. & Fichtner, U. (2007): Kartographische Kompetenz von Studienanfängern geowissenschaftlicher Fachrichtungen. *Kartographische Nachrichten* (6). 318–326.

Heymann, H.W. (1996): Allgemeinbildung und Mathematik. Studien zur Schulpädagogik und Didaktik, 13. Beltz. Weinheim/Basel.

Hieber, U. & Lenz, T. (2007): Bilder lesen lernen. Neue Impulse für den Aufbau einer geographischen Basiskompetenz. *Geographie heute* (253). 2–5.

Hieber, U., Lenz, T. & Stenglin, M. (2009): Medien auswerten. *Geographie heute* 30 (271/272). 2–12.

Hildebrandt, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung. Für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann. Heidelberg.

Hildebrandt, K. (2006): Die Wirkung systemischer Darstellungsformen und multiperspektivischer Wissensrepräsentationen auf das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.

Hillen, S., Berendes, K. & Breuer, K. (2000): Systemdynamische Modellbildung als Werkzeug zur Visualisierung, Modellierung und Diagnose von Wissensstrukturen. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Hogrefe Verlag für Psychologie. Göttingen. 71–89.

Hippchen, T. (1995): Begriffsnetzbearbeitung am Computer. Ein Forschungsprojekt. *Unterrichtswissenschaft* 23 (3). 251–263.

Hmelo-Silver, C.E. & Pfeffer, M.G. (2004): Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science* 28, 127–138.

Hoffmann, J. & Engelkamp, J. (2013): Lern- und Gedächtnispsychologie. Springer-Lehrbuch. Springer. Berlin/Heidelberg.

Höpel, I. (2013): Bildkompetenz als pädagogische Schlüsselkompetenz. Forschungsstand und Perspektiven einer interdisziplinären Bilddidaktik. In: Lieber, G. (Hg.): Lehren und Lernen mit Bildern. Ein Handbuch zur Bilddidaktik. Schneider Hohengehren. Baltmannsweiler. 2. Auflage. 60–71.

Hopkins, C. & McKeown, R. (2002): Education for sustainable development: an international perspective. In: Tilbury, D., Stevenson, R.B., Fien, J. & Schreuder, D. (Hg.): Education and Sustainability: Responding to the Global Challenge. Gland/Cambridge. 13–24.

Horn, M,. & Schweizer, K. (2010): Der Umgang mit Alltagsvorstellungen zu geographischen Begriffen – welchen Einfluss haben Faktoren von Lehramtsstudierenden der Geographie auf den Prozess der Konzeptveränderungen? In: Reinfried, S. (Hg.): Schülervorstellungen und geographisches Lernen – Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Logos. Berlin. 189–211.

Horning, N. (2001): Selecting the appropriate band combination for an RGB image using Landsat imagery. Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History. New York.

Hoz, R., Tomer, Y. & Tamir, P. (1990): The Relations Between Disciplinary and Pedagogical Knowledge an the Lentgh of Teaching Experience of Biology and Geography Teachers. *Journal of Research in Science Teaching* 27 (10). 973–985.

Huberty, C.J. & Olejnik, S. (2006): Applied MANOVA and Discriminant Analysis. John Wiley & Sons. Hoboken. 2nd Edition.

Hussy, W., Schreier, M. & Echterhoff, G. (2013): Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor. Springer-Lehrbuch. Springer. Heidelberg. 2. Auflage.

Hüttermann, A. (1998): Kartenlesen - (k)eine Kunst. Einführung in die Didaktik der Schulkartographie. Didaktik der Geographie. Oldenbourg. München.

Hüttermann, A. (2001): Karteninterpretation in Stichworten. Geographische Interpretation topographischer Karten. Hirsts Stichwörter. Borntraeger. Stuttgart. 4. Auflage.

Hüttermann, A. (2005): Kartenkompetenz: Was sollen Schüler können? *Praxis Geographie* (11). 4–8.

Hüttermann, A. (2012a): Karte. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 192–213.

Hüttermann, A. (2012b): Von der "Einführung in das Kartenverständnis" zur "Kartenkompetenz": Der schillernde Begriff der Kartendidaktik. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. Braunschweig. 22–32.

Hüttermann, A., Fichtner, U. & Herzig, R. (2010): Regelkreis zur Gewinnung kartographischer Kompetenz. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (2). 77–88.

Ishikawa, T. & Kastens, K.A. (2005): Why Some Students Have Trouble with Maps and Other Spatial Representations. *Journal of Geoscience Education* 53 (2). 184–197.

ISI (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung) (1998): Delphi '98-Umfrage. Studie zur globalen entwicklung von Wissenschaft und Technik. Zusammenfassung der Ergebnisse. Karlsruhe.

Issing, L.J. (1994): Wissenserwerb mit bildlichen Analogien. In: Weidenmann, B. (Hg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Huber. Bern. 149–176.

Jaccard, J. (2013): Theory Construction, Model Building, and Model Selection. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 1 Foundations. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 82–104.

Jahn, M., Haspel, M., Ditter, R. & Siegmund, A. (2010): Tagebau im Satellitenbild. Landschaftswandel im Rheinischen Braunkohlenrevier unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit. *Praxis Geographie* 40 (7-8). 42–45.

Jahn, M., Haspel, M. & Siegmund, A. (2012): „GLO*KAL* Change“: Mit digitaler Geoinformation globale Umweltveränderungen verstehen und bewerten lernen. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. 281–289.

Jahn, M., Viehrig, K., Fiene, C. & Siegmund, A. (2015): Mit Concept Maps systemisches Denken von Schüler/innen bewerten. In: Budke, A. & Kuckuck, M. (Hg.): Geographiedidaktische Forschungsmethoden. Praxis Neue Kulturgeographie, 10. LIT. Berlin. 341–367.

Jahnke, H. (2011): Das „geographische Bild“ und der „geographische Blick“ – Von der Bildlesekompetenz zur Fotoperformanz. In: Meyer, C., Henŕy, R. & Stöber, G. (Hg.): Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Tagungsband zum HGD-Symposium in Braunschweig. Geographiedidaktische Forschungen, 47. Westermann. Braunschweig. 82–97.

Jamieson, S. (2004): Likert scales: how to (ab)use them. *Medical Education* (38). 1212–1218.

Johnson-Laird, P.N. (1995): Mental Models, Deductive Reasoning, and the Brain. In: Gazzaniga, M.S. (Hg.): The cognitive neurosciences. Massachusetts Institute of Technology Press. Cambridge, USA. 999–1008.

Johnson-Laird, P.N. (2001): Mental models and deduction. *TRENDS in Cognitive Sciences* 5 (10). 434–442.

Jonassen, D.H., Beissner, K. & Yacci, M. (1993): Structural knowledge. Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge. Laurence Erlbaum. Hillsdale.

Jonassen, D.H., Reeves, T.C., Hong, N., Harvey, D. & Peters, K. (1997): Concept Mapping as Cognitive Learning and Assessment Tools. *Journal of Interactive Learning Research* 8 (3/4). 289–308.

Jonindes, J., Reuter-Lorenz, P.A., Smith, E.E., Awh, E., Barnes, L.L. & Drain, M. (1996): Verbal and spatial working memory in humans. In: Medin, D.L. (Hg.): The Psychology of Learning and Motivation. Advances in Research and Theory. Academic Press (35). San Diego. 43–88.

Jörissen, J., Kopfmüller, J., Brandl, V. & Pateau, M. (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. Forschungszentrum Karlsruhe. Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6393. Karlsruhe.

Jüngst, K.L. & Strittmatter, P. (1995): Wissensstrukturdarstellung: Theoretische Ansätze und praktische Relevanz. *Unterrichtswissenschaft* 23 (3). 194–207.

Kaivola, T. & Åhlberg, M. (2007): Theoretical Underpinnings of Education for Sustainable Development. In: Kaivola, T. & Rohweder, L. (Hg.): Towards Sustainable Development in Higher Education – Reflections. Helsinki. 42–48.

Kaminske, V. (2001): Strategien des Zugriffs auf vernetzte Raumsachverhalte. *Geographie und Schule* 23 (132). 15–23.

Kaminske, V. (2010): Auf Forschungstour im Braunkohlenrevier. Braunkohle in Deutschland. *Praxis Geographie* 40 (4). 52.

Kaminske, V. (2012): Die räumliche Wahrnehmung. Grundlage für Geographie und Kartographie. WBG. Darmstadt.

Kaufhold, M. (2006): Kompetenz und Kompetenzerfassung. Analyse und Beurteilung von Verfahren der Kompetenzmessung. VS Verlag für Sozialwissenschaften (GWV). Wiesbaden.

Kazakoff, A. (2009): Using Concept Mapping to Scaffold Learning for Students who Experience Learning Difficulties in Science Classes. Dissertation. Faculty of Education, School of Learning and Professional Studies. Queensland University of Technology, Brisbane.

Kelley, K. (2013): Effect Size and Sample Size Planning. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 1 Foundations. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 206–222.

Kerres, M. (2001): Multimediale und telemediale Lernumgebungen. Konzeption und Entwicklung. Oldenbourg. München. 2. Auflage.

Kerres, M. (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: Keil-Slawik, R. & Kerres, M. (Hg.): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. Education Quality Forum 2002. Waxmann. Münster. 31–44.

Keselman, H.J., Algina, J., Lix, L.M., Wilcox, R.R. & Deering, K.N. (2008): A Generally Robust Approach for Testing Hypotheses and Setting Confidence Intervals for Effect Sizes. *Psychological Methods* 13 (2). 110–129.

Kharatmal, M. & Nagarjuna G. (2013): Representing Change Using Concept Maps.

Kinchin, I.M. (2000): The active use of concept mapping to promote meaningful learning in biological science. Dissertation. School of Educational Studies.University of Surrey. Guilford.

Kinchin, I.M. & Cabot, L.B. (2010): Reconsidering the dimensions of expertise: from linear stages towards dual processing. *London Review of Education* 8 (2). 153–166.

Kirby, J.R. (1993): Collaborative and Competitive Effects of Verbal and Spatial Processes. *Learning and Instruction* 3 (3). 201–214.

Kirchhoff, S., Kuhnt, S., Lipp, P. & Schlawin, S. (2010): Der Fragebogen. Datenbasis, Konstruktion und Auswertung. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden. 5. Auflage.

Klafki, W. (1996): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Reihe Pädagogik. Beltz. Weinheim. 5. Auflage.

Klaus, D. (1985): Allgemeine Grundlagen des systemtheoretischen Ansatzes. *Geographie und Schule* 7 (33). 1–7.

Klein, D.C.D., Chung, G.K.W.K., Osmundson, E. & Herl, H.E. (2002): Examining the Validity of Knowledge Mapping as a Measure of Elementary Students´ Scientific Understanding. CSE Technical Report, 557. Center for the Study of Evaluation, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing, Graduate School of Education & Information Studies. University of California. Los Angeles.

KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2003): Bildungsstandards im Fach Deutsch für den Mittleren Schulabschluss. Beschlüsse der Kultusministerkonferenz vom 4.12.2003. Bonn/Berlin.

KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2004a): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. Bonn/Berlin.

KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2004b): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschlüsse der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004. Bonn/Berlin.

KMK (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland) (2012): Zur Situation und zu Perspektiven der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Bericht der Kultusministerkonferenz vom 13.12.2012. Bonn/Berlin.

KMK & BMZ (2007): Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ergebnis des gemeinsamen Projekts der Kultusministerkonferenz (KMK) und des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Stand: Juni 2007. Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland & Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Bonn/Berlin.

KMK & DUK (Hg.) (2007): Empfehlung der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) und der Deutschen UNESCO-Kommission (DUK) vom 15.06.2007 zur Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland & Deutsche UNESCO-Kommission e.V.

Knauff, M. (1998): Braunkohlenplanung. In: Pflug. W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 19–41.

Köck, H. (1985): Systemdenken - geographiedidaktische Qualifikation und unterrichtliches Prinzip. *Geographie und Schule* 7 (33). 15–19.

Köck, H. (1993): Raumbezogene Schlüsselqualifikationen. *Geographie und Schule* 84. 14–22.

Köck, H. (1997): Raumverhaltenskompetenz in der Kritik und die Frage nach möglichen Leitzielalternativen. In: Frank, F., Kaminske, V. & Obermaier, G. (Hg.): Die Geographiedidaktik ist tot, es lebe die Geographiedidaktik. Festschrift zur Emeritierung von Josef Birkenhauer. Münchener Studien zur Didaktik der Geographie, 8. Selbstverlag Lehrstuhl für Didaktik der Geographie der Universität München. München. 17–39.

Köck, H. (2001): Typen vernetzenden Denkens im Geographieunterricht. *Geographie und Schule* (132). 9–15.

Kollar, I. (2012): Die Satellitenbild-Lesekompetenz. Empirische Überprüfung eines theoriegeleiteten Kompetenzstrukturmodells für das „Lesen“ von Satellitenbildern. Dissertation. Abteilung Geographie. Pädagogische Hochschule Heidelberg. Heidelberg.

Konrad, K. (2010): Lautes Denken. In: Mey, G. & Mruck, K. (Hg.): Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden. 476–490.

Krapp, A. (2010): Die Bedeutung von Interessen für die Lernmotivation und das schulische Lernen – eine Einführung. In: Hemmer, I. & Hemmer, M. (Hg.): Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts. Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. Geographiedidaktische Forschungen, 46. Selbstverlag Hochschulverband für Geographie und ihre Didaktik e.V. Weingarten. 9–26.

Kreus, A. & von der Ruhren, N. (2007): Braunkohlebergbau und Nachhaltigkeit. *Geographie und Schule* (169). 4–13.

Kulhavy, R.W., Lee, J.B. & Caterino, L.C. (1985): Conjoint Retention of Maps and Related Discourse. *Contemporary Educational Psychology* 10 (1). 28–37.

Kulhavy, R.W. & Stock, W.A. (1996): How Cognitive Maps are Learned and Remembered. *Annals of the Association of American Geographers* 86 (1). 123–145.

Kulhavy, R.W., Stock, W.A. & Kealy, W.A. (1993): How Geographic Maps Increase Recall of Instructional Text. *Educational Technology Research and Development* 41 (4). 47–62.

Kunz, P. & Bollmann-Zuberbühler, B. (2008): Wie lässt sich Systemdenken operationalisieren und messen? In: Frischknecht-Tobler, U., Nagel, U. & Seybold, H. (Hg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich. Zürich. 53–69.

Künzli, C. & Bertschy, F. (2008): Didaktisches Konzept Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Arbeitspapier Nr. 1 aus dem Forschungsprojekt des Nationalfonds (Nr. 1114-063780) und der Lehrerinnen- und Lehrerbildung Bern (Nr. 0201s004): „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Didaktische Konzeption und Umsetzung in die Schulpraxis“. Bern. 3. Fassung.

Lambert, D. (2013): Geographical Concepts. In: Manfred Rolfes und Anke Uhlenwinkel (Hg.): Metzler Handbuch 2.0 Geographieunterricht. Ein Leitfaden für Praxis und Ausbildung. Didaktische Impulse. Westermann. Braunschweig. 174–181.

Landesinstitut für Schulentwicklung (2011a): Bildungsplan 2004 Gymnasium. Umsetzungsbeispiel für ein Curriculum im Fach Geographie. Standard 12. Beispiel 1. Stuttgart.

Landesinstitut für Schulentwicklung (2011b): Bildungsplan 2004 Gymnasium. Umsetzungsbeispiel für ein Curriculum im Fach Geographie. Standard 12. Beispiel 2. Stuttgart.

Landis, J.R. & Koch, G.G. (1977): The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33 (1). 159–174.

Larson-Hall, J. (2010): A guide to Doing Statistics in second language research using SPSS. Second language acquisition research series: theoretical and methodological issues. Routledge. New York

Laaströöer, A. & Rost, J. (2008): Operationalisierung und Messung von Bewertungskompetenz. In: Bormann, I. & de Haan, G. (Hg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage. Wiesbaden. 89–102.

Lenz, T. (2006a): Karten. In: Hartwig Haubrich (Hg.): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage. 196–199.

Lenz, T. (2006b): Topographische und kartographische Bildung: didaktische Überlegungen und methodische Hinweise. In: Haubrich, H. (Hg.): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage. 342–345.

Lenz, T. (2009): Thematische Karten. *Geographie heute* 30 (271/272). 13–19.

Lenz, T. (2012): Neue Aufgabenkultur im Geographieunterricht am Beispiel der Kartenauswertekompetenz. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. Braunschweig. 192–203.

Leutner, D. & Schrettenbrunner, H. (1989): Entdeckendes Lernen in komplexen Realitätsbereichen: Evaluation des Computer-Simulationsspiels "Hunger in Nordafrika". *Unterrichtswissenschaft* (4). 327–341.

Lewalter, D. (1997): Lernen mit Bildern und Animationen. Studie zum Einfluß von Lernermerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen. Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, 2. Waxmann. Münster.

Likert, R. (1932): A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology* 22 (140). 5–55.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. & Chipman, J.W. (2008): Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons. Hoboken. 6th Edition.

Lindner-Fally, M. (2012): Lehren und Lernen neu: digitale Geo-Medien im Schulunterricht. *Bildungsforschung* 9 (1). 47–67.

Liu, X. & Hinchey, M. (1996): The internal consistency of a concept mapping scoring scheme and its effect on prediction validity. *International Journal of Science Education* 18 (8). 921–937.

Lomask, M., Baron, J., Greig, J. & Harrison, C. (1992): ConnMap: connecticut's use of concept mapping to assess the structure of students' knowledge of science. Symposium presented at the annual meeting of the National Center for Research in Science Teaching. Cambridge, USA.

Lowe, R.K. (1993): Constructing a Mental Representation from an Abstract Technical Diagram. *Learning and Instruction* 3 (3). 157–179.

Maier, W. (1998): Grundkurs Medienpädagogik Mediendidaktik. Ein Studien- und Arbeitsbuch. Beltz. Weinheim/Basel.

Mandl, H. & Fischer, F. (2000): Mapping-Techniken und Begriffsnetze in Lern- und Kooperationsprozessen. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Hogrefe Verlag für Psychologie. Göttingen. 3–12.

Markham, K.M., Mintzes, J.J. & Jones, M.G. (1994): The Concept Maps as a Research and Evaluation Tool: Further Evidence of Validity. *Journal of Research in Science Teaching* 31 (1). 91–101.

Maxwell, S.E. (1994): Optimal Allocation of Assessment Time in Randomized Pretest-Posttest Designs. *Psychological Bulletin* 115 (1). 142–152.

Mayer, R.E. (1993): Commentary. Comprehension of Graphics in Texts: An Overview. *Learning and Instruction* 3 (3). 239–245.

Mayer, R.E. (2009): Multimedia learning. Cambridge University Press. Cambridge/New York. 2nd Edition.

McCloy, K.R. (2006): Resource Management Information Systems: Remote Sensing, GIS and Modelling. Taylor & Francis. Boca Raton. 2. Editon.

McClure, J.R. & Bell, P.E. (1990): Effects of an Environmental Education-Related STS Approach Instruction on Cognitive Structures of Preservice Science Teachers. Reports - Research/Technical, 143. Pennsylvania State University, College of Education. University Park.

McClure, J.R., Sonak, B. & Suen, H.K. (1999): Concept Map Assessment of Classroom Learning: Reliability, Validity, and Logistical Practicality. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 36 (4). 475–492.

McKeown, R., Hopkins, C.A., Rizzi, R. & Chrystalbridge, M. (2006): Education for Sustainable Development Toolkit. Education for Sustainable Development in Action. Learning and Training Tools, No. 1. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris.

Mehren, R., Rempfler, A. & Ulrich-Riedhammer, E.M. (2014): Denken in komplexen Zusammenhängen. Systemkompetenz als Schlüssel zur Steigerung der Eigenkomplexität von Schülern. *Praxis Geographie* (4). 4–8.

Mehren, R., Rempfler, A. & Ulrich-Riedhammer, E.M. (2015): Diagnostik von Systemkompetenz mittels Concept Maps. Malariabekämpfung im Kongo als Beispiel. *Praxis Geographie* (7-8). 29–33.

Michelsen, G. (2007): Kompetenzen und Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. In: Deutscher Olympischer Sportbund (Hg.): Umweltbildung im Sport. Dokumentation des 14. Symposiums zur nachhaltigen Entwicklung des Sports vom 07. - 08. Dezember 2006 in Bodenheim/Rhein. Schriftenreihe "Sport und Umwelt" des Deutschen Olympischen Sportbundes, Heft 25. Frankfurt am Main. 17–25.

Michelsen, G. & Rode, H. (2012): Die Verbreitung einer wegweisenden Idee: Der Beitrag der UN-Dekade für die Diffusion von Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (Hg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Beiträge der Bildungsforschung. Bildungsforschung, 39. Bonn/Berlin. 91–113.

Miller, N.L. & Cañas, A.J. (2008): Effect of the nature of the focus question on presence of dynamic propositions in a concept map. In: Cañas, A.J., Reiska, P. & Åhlberg, M. (Hg.): Concept Mapping: Connecting Educators. Proceedings of the Third International Conference on Concept Mapping. Tallinn/Helsinki. 365–372.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (2004): Bildungsplan 2004. Allgemein bildendes Gymnasium. Stuttgart.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (2016): Bildungsplan 2016 des Gymnasiums. Geographie. Stuttgart.

Molitor, H. (2014): Bildung durch digitale Medien? Konsequenzen für eine Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung. In: Michel, U., Siegmund, A., Ehlers, M., Jahn, M. & Bittner, A. (Hg.): Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Potenziale und Grenzen. oekom. München. 25–32.

Molitor, H. & Jahn, M. (2014): »GLOKAL Change«: Mit Satellitenbildern nicht nachhaltige Entwicklungen bewerten lernen. In: Michel, U., Siegmund, A., Ehlers, M., Jahn, M. & Bittner, A. (Hg.): Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Potenziale und Grenzen. oekom. München. 111–115.

Montello, D.R. (1998): Kartenverstehen: Die Sicht der Kognitionspsychologie. *Zeitschrift für Semiotik* 20 (1-2). 91–103.

MPFS (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest) (2011): JIM-Studie 2011. Jugend, Information, (Multi-)Media. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger. Stuttgart.

MPFS (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest) (2013): KIM-Studie 2012. Kinder + Medien. Computer + Internet. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland. Stuttgart.

MPFS (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest) (2014): JIM 2014. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Stuttgart.

Neber, H. (2006): Entdeckendes Lernen. In: Rost, D.H. (Hg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Beltz PVU. Weinheim. 3. Auflage. 115–120.

Neisser, U. (1979): Kognition und Wirklichkeit. Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie. Klett-Cotta. Stuttgart.

Nelson, D.L. (1979): Remembering Pictures and Words: Appearance, Significance, and Name. In: Cermak, L.S. & Craik, F.I.M. (Hg.): Levels of Processing in Human Memory. Psychology Library Editions: Memory. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale. 45–76.

Nesbit, J.C. & Adesope, O.O. (2006): Learning With Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research* 76 (3). 413–448.

Neumann-Mayer, U.-P. (2005): Der Zugang zu Satellitenbildern in der Orientierungsstufe. Probleme und Möglichkeiten. Dissertation. Erziehungswissenschaftliche Fakultät. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel.

Norman, D.A. (1983): Some Observations on Mental Models. In: Gentner, D. & Stevens, A.L: (Hg.): Mental Models. Lawrence Erlbaum Associates. New York. 7–14.

Norman, G. (2010): Likert scales, levels of measurement and the ‘‘laws’’ of statistics. *Advances in Health Science Education* (15). 625–632.

Novak, J.D. (1990): Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science* 19 (1). 29–52.

Novak, J.D. (2002): Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education* 86 (4). 548–571.

Novak, J.D. & Cañas, A.J. (2006): The Origins of the Concept Mapping Tool and the Continuing Evolution of the Tool. *Visualization Journal* 5 (3). 175–184.

Novak, J.D. & Cañas, A.J. (2008): The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC). Pensacola.

Novak, J.D. & Gowin, D.B. (1984): Learning how to learn. Cambridge University Press. Cambridge, USA.

Novak, J.D., Gowin, D.B. & Johansen, G.T. (1983): The Use of Concept Mapping and Knowledge Vee Mapping with Junior High School Science Students. *Science Education* 67 (5). 625–645.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2002): Definition and Selection of Competences (DeSeCo): Theoretical and Conceptual Foundations. Strategy Paper. DEELSA/ED/CERI/CD(2002), 9. Paris.

Oelkers, J. & Reusser, K. (2008): Qualität entwickeln - Standards sichern - mit Differenz umgehen. Unter Mitarbeit von Esther Berner, Ueli Halbheer und Stefanie Stolz. Bildungsforschung, Band 27. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Bonn.

Ohl, U. & Klebel, C. (2012): Simulationsspiele in der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). In: Pingold; M. & Uphues, R. (Hg.): Jenseits des Nürnberger Trichters - Ideen für einen zukunftsorientierten Geographieunterricht. Tagungsband zum 15. Bayerischen Schulgeographentag. Nürnberg. 75-61 & 143-144.

Osmundson, E., Chung, G.K.W.K., Herl, H.E. & Klein, D.C.D. (1999): Knowledge Mapping in the Classroom: A Tool for Examining the Development of Students' Conceptual Understanding. CSE Technical Report, 507. Center for the Study of Evaluation, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing, Graduate School of Education & Information Studies, University of California. CRESST / University of California. Los Angeles.

Ossimitz, G. (1994): Was kann der Mathematikunterricht zum systemischen Denken und Handeln beitragen? *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 26 (6). 196–200.

Ossimitz, G. (1996): Stand und Perspektiven der Forschung zum systemischen Denken. In: Kadunz, G., Kautschitsch, H., Ossimitz, G. & Schneider, E. (Hg.): Trends und Perspektiven in der Mathematik. Beiträge zum 7. Internationalen Symposium in Klagenfurt vom 26. - 30.9.1994. Schriftenreihe Didaktik der Mathematik, 23. Hölder-Pichler-Tempsky. Wien. 278–286.

Ossimitz, G. (2000): Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. Profil. München.

Ossimitz, G. (2002): Systemisches Denken braucht systemische Darstellungsmittel. In: Milling, P. (Hg.): Entscheiden in komplexen Systemen. Wissenschaftliche Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik vom 29. und 30. September 2000 in Mannheim. Wirtschaftskybernetik und Systemanalyse, 20. Duncker & Humblot. Berlin. 161–173.

Özcan, N. (2012): Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht. Dissertation. Fakultät für Chemie. Universität Duisburg-Essen. Duisburg-Essen.

Paine, D.P. & Kiser, J.D. (2003): Aerial Photography and Image Interpretation. Wiley & Sons. Hoboken. 2nd Edition.

Paivio, A. (1971): Imagery and Verbal Processes. Holt, Rineharz, and Winston. New York.

Paivio, A. (1986): Mental Representations. A Dual Coding Approach. Oxford Psychology Series, 9. Oxford University Press. New York.

Peeck, J. (1993): Increasing Picture Effects in Learning from Illustrated Text. *Learning and Instruction* 3 (3). 227–238.

Pflug, W. (1998a): Das Rheinische Braunkohlenrevier. In: Pflug, W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 13–18.

Pflug, W. (1998b): Einführung. In: Pflug, W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 1–9.

Pituch, K.A. & Stevens, J. (2016): Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences. Analyses with SAS and IBM's SPSS. Taylor & Francis. New York/Oxon. 6th Edition.

Plümacher, M. (1998): Sinn der Bilder. In: Sachs-Hombach, K. & Rehkämper, K. (Hg.): Bild - Bildwahrnehmung - Bildverarbeitung. Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Studien zur Kognitionswissenschaft. Deutscher Universitäts-Verlag. Wiesbaden. 49–58.

Preußler, W. (1998): Erwerb und Anwendung von Strukturwissen. Effekte auf das Lernen und den Transfer bei der Systemsteuerung. In: Kotkamp, U. & Krause, W. (Hg.): Intelligente Informationsverarbeitung. Studien zur Kognitionswissenschaft. Deutscher Universitätsverlag. Wiesbaden. 157–165.

Programm Transfer-21 (o.J.): Transfer-21. Inhalte, Ergebnisse, Herausforderungen. Eine Handreichung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung. Hintergrund – Methoden – Schulpraxis. Berlin.

Programm Transfer-21 (2007): Orientierungshilfe Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I. Begründungen, Kompetenzen, Lernangebote. Berlin.

Programm Transfer-21 (2010): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Hintergründe, Legitimation und (neue) Kompetenzen. Berlin.

Prüfer, P. & Rexroth, M. (1996): Verfahren zur Evaluation von Survey-Fragen: Ein Überblick. Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen. ZUMA-Nachrichten, 39. Mannheim.

Rabe, T. (2006): Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Universität Potsdam, Potsdam.

Raia, F. (2005): Students' Understanding of Complex Dynamic Systems. *Journal of Geoscience Education* 53 (3). 297–308.

Raithel, J. (2008): Quantitative Forschung. Ein Praxiskurs. Lehrbuch. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden. 2. Auflage.

Rao, U.R. (1998): Space Remote Sensing for Sustainable Development. India-ASEAN Eminent Persons Lectures. Research and Information System for the Non-aligned and Other Developing Countries. New Delhi.

Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014a): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Springer-Lehrbuch. Springer. Berlin. 4. Auflage.

Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014b): Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler. Springer-Lehrbuch. Springer. Berlin. 4. Auflage.

Reinfried, S. (2006): Direkte Instruktion und entdeckendes Lernen. In: Haubrich, H. (Hg.): Geographie unterrichten lernen. Die neue Didaktik der Geographie konkret. Oldenbourg. München. 2. Auflage. 120–125.

Reinfried, S. (Hg.) (2010): Schülervorstellungen und geographisches Lernen – Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion. Logos. Berlin.

Reinmann, G. & Mandl, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Anwendung Psychologie. Beltz PVU. Weinheim/Basel. 5. Auflage. 613–658.

Rempfler, A. (2009): Systemkompetenz: Forschungsstand und Forschungsfragen. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (2). 58–79.

Rempfler, A. & Uphues, R. (2010): Sozialökologisches Systemverständnis. Grundlage für die Modellierung von geographischer Systemkompetenz. *Geographie und ihre Didaktik (GuiD)* (4). 205–217.

Rempfler, A. & Uphues, R. (2011): Systemkompetenz im Geographieunterricht - Die Entwicklung eines Kompetenzmodells. In: Meyer, C., Henřy, R. & Stöber, G. (Hg.): Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Tagungsband zum HGD-Symposium in Braunschweig. Geographiedidaktische Forschungen, 47. Westermann. Braunschweig. 36–48.

Repovš, G. & Baddeley, A.D. (2006): The Multi-Component Model of Working Memory: Explanations in Experimental Cognitive Psychology. *Neuroscience* 139 (1). 5–21.

Reuschenbach, M. (2005): Umweltkatastrophe am Aralsee. Mit Satellitenbildern Landschaftsveränderungen erkennen. *Geographie heute* 26 (235). 14–21.

Reuschenbach, M. (2007): Entwicklung und Realisierung eines Konzeptes zur verstärkten Integration der Fernerkundung, insbesondere von Luft- und Satellitenbildern in den Geographieunterricht. Dissertation. Geographisches Institut. Universität Zürich. Zürich.

Reuschenbach, M. (2009): Luft- und Satellitenbilder. *Geographie heute* 30 (271/272). 54–63.

Rhode-Jüchtern, T. (2001): Vernetztes Denken - Zauberwort mit Januskopf. *Geographie und Schule* 23 (132). 3–8.

Rice, D.C., Ryan, J.M. & Samson, S.M. (1998): Using Concept Maps to Assess Student Learning in the Science Classroom: Must Different Methods Compete? *Journal of Research in Science Teaching* 35 (10). 1103–1127.

Rieckmann, M. (2010): Die globale Perspektive der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Eine europäisch-lateinamerikanische Studie zu Schlüsselkompetenzen für Denken und Handeln in der Weltgesellschaft. Umweltkommunikation, 7. BMV. Berlin.

Rieckmann, M. (2011): Schlüsselkompetenzen für eine nachhaltige Entwicklung der Weltgesellschaft. Ergebnisse einer europäisch-lateinamerikanischen Delphi-Studie. *GAIA* (1). 48–56.

Rieß, W. (2006): Lehr-Lern-Forschung im Rahmen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE). In: Rieß, W. & Apel, H. (Hg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Aktuelle Forschungsfelder und -ansätze. Schriftreihe "Ökologise und Erziehungswissenschaft" der Kommission Bildung für eine nachhaltige Entwicklung der DGfE. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden. 17–31.

Rieß, W. (2013): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. *Anliegen Natur* (35). 55–64.

Rieß, W., Hörsch, C. & Jakob, T. (2013): Förderung systemischen Denkens als Aufgabe einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). In: Pütz, N., Schweer, M.K.W. & Logemann, N. (Hg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Aktuelle theoretische Konzepte und Beispiele praktischer Umsetzung. Psychologie und Gesellschaft, 11. Peter Lang. Frankfurt a.M. 103–125.

Rieß, W. & Mischo, C. (2008): Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten. In: Bormann, I. & de Haan, G. (Hg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage. Wiesbaden. 215–232.

Ringel, G. (2012): Einsatz von Medien. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 175–191.

Rinschede, G. (2007): Geographiedidaktik. Grundriss Allgemeine Geographie. Schöningh. Paderborn. 3. Auflage.

Rittle-Johnson, B. & Schneider, M. (2015): Developing Conceptual and Procedural Knowledge in Mathematics. In: Kadosh, R.C. & Dowker, A. (Hg.): Oxford Handbook of Numerical Cognition. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 1102–1118.

Rode, H. (2006): Gelingensbedingungen für Innovationen. Ausgewählte Ergebnisse aus dem BLK-Programm „21". In: Rieß, W. & Apel, H. (Hg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Aktuelle Forschungsfelder und -ansätze. Schriftreihe "Ökologise und Erziehungswissenschaft" der Kommission Bildung für eine nachhaltige Entwicklung der DGfE. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden. 87–99.

Röhl, K.F. (o.J.): Bilder. Bausteine für das Projekt „Visuelle Rechtskommunikation“. Lehrstuhl für Rechtssoziologie und Rechtsphilosophie. Ruhr-Universität Bochum.

Rost, J. (2002): Umweltbildung - Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik* 25 (1). 7–12.

Rost, J., Laaströer, A. & Raack, N. (2003): Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* 52 (8). 10–15.

Rous, M (2016): Fachsprache im Biologieunterricht: Förderung von konzeptuellem Lernen und Testverstehen durch fachspezifische-sprachsensible Aufgaben. Biologie lernen und lehren, 16. Logos. Berlin.

Royer, R. & Royer, J. (2004): Comparing Hand Drawn and Computer Generated Concept Mapping. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 23 (1). 67–81.

Ruiz-Primo, M.A. (2000): On the Use Of Concept Maps As An Assessment Tool in Science: What We Have Learned so Far. *Revista Electrónica de Investigación* 2 (1). 29–52.

Ruiz-Primo, M.A. (2004): Examining Concept Maps as an Assessment Tool. In: Cañas, A.J., Novak, J.D. & González, F.M. (Hg.): Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping. 14-17 September 2004. Universidad Pública de Navarra. Pamplona. 555–562.

Ruiz-Primo, M.A. & Shavelson, R.J. (1996): Problems and Issues in the Use of Concept Maps in Science Assessment. *Journal of Research in Science Teaching* 33 (6). 569–600.

Ruiz-Primo, M.A., Schultz, S.E. & Shavelson, R.J. (1997a): Concept Map-Based Assessment in Science: Two Exploratory Studies. CSE Technical Report, 436. National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST), Center for the Study of Evaluation (CSE), Graduate School of Education & Information Studies, University of California. Los Angeles.

Ruiz-Primo, M.A., Shavelson, R.J. & Schultz, S.E. (1997b): On The Validity Of Concept Map-Base Assessment Interpretations: An Experiment Testing The Assumption Of Hierarchical Concept Maps In Science. CSE Technical Report, 455. National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST), Center for the Study of Evaluation (CSE), Graduate School of Education & Information Studies, University of California. Los Angeles.

Ruiz-Primo, M.A., Schultz, S.E., Li, M. & Shavelson, R.J. (2001a): Comparison of the Reliability and Validity of Scores from Two Concept-Mapping Techniques. *Journal of Research in Science Teaching* 38 (2). 260–278.

Ruiz-Primo, M.A., Shavelson, R.J., Li, M. & Schultz, S.E. (2001b): On the Validity of Cognitive Interpretations of Scores From Alternative Concept-Mapping Techniques. *Educational Assessment* 7 (2). 99–141.

Rümler, R. (1998): Freizeit und Erholung. In: Pflug, W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 160–170.

RWE Power AG (o.J.a): Rahmenbetriebsplan für die Fortführung des Tagebaus im Zeitraum 2020-2030. Information über die wesentlichen Inhalte. Köln.

RWE Power AG (o.J.b): Umsiedlungen im Rheinland. Partnerschaft mit Sozialverträglichkeit. Essen/Köln.

RWE Power AG (2008a): 7 Fragen zum Thema Feinstaub. Essen/Köln.

RWE Power AG (2008b): Mit ganzer Kraft. Was wir leisten, was wir bewegen, wofür wir stehen. Essen/Köln.

RWE Power AG (2008c): Standort Niederaußem. Das Innovationszentrum Kohle. Essen/Köln.

RWE Power AG (2009): Braunkohle - Mit Energie vorweg gehen. RWE Power im rheinischen Braunkohlenrevier.

RWE Power AG (2013a): Rekultivierung im Rheinland. Die Landschaft nach dem Tagebau. Essen/Köln.

RWE Power AG (2013b): Tagebau Garzweiler. Ein Feld voller Energie. Essen/Köln.

RWE Power AG (2013c): Tagebau Hambach. Versorgungssicherheit mit heimischer Energie. Essen/Köln.

RWE Power AG (2014): Strom aus dem Westen.

RWE Power AG (2015a): CO2-Wäsche.

RWE Power AG (2015b): Tagebau Garzweiler.

RWE Power AG (2015c): Tagebau Hambach.

RWE Power AG (2015d): Tagebau Inden, 2015.

Ryan, R.M. & Deci, E.L. (2000): Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology* (25). 54–67.

Rychen, D.S. & Salganik, L.H. (2003): A holistic model of competence. In: Rychen, D.S. & Salganik, L.H: (Hg.): Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society. Hogrefe Publishing. Cambridge/Göttingen. 41–62.

Rye, J.A. & Rubba, P.A. (2002): Scoring Concept Maps: An Expert Map-Based Scheme Weighted for Relationships. *School Science and Mathematics* 102 (1). 33–44.

Sander, W. & Dumbeck, G. (2012): Kompensation von Eingriffen in Natur und Landschaft. Die Maßnahmen beim Braunkohlentagebau im Rheinischen Revier. *Praxis Geographie* 42 (7-8). 50–55.

Schaal, S. (2006): Fachintegratives Lernen mit digitalen Medien. Die theoriegeleitete Entwicklung und Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Realschule. Dr. Kovač. Hamburg.

Schacht, S. (2009): Das Rheinische Braunkohlenrevier – ein klassisches Beispiel für Landschaftswandel. *Diercke 360°*. 6–9.

Schau, C., Mattern, N., Weber, R.W., Minnick, K. & Witt, C. (1997): Use of Fill-in Concept Maps To Assess Middle School Students' Connected Understanding of Science. Paper presented at the Annual Meeting of the American Education Research Association (Chicago, IL, March 1997). Los Alamos National Laboratories.

Schau, C., Mattern, N., Zeilik, M., Teague, K.W. & Weber, R.J. (2001): Select-and-Fill-in Concept Map Scores as a Measure of Students´ Connected Understanding of Science. *Educational and Psychological Measurement* 61 (1). 136–158.

Scheidl, W. (2009): Was ist Google Earth wirklich wert? Zehn provokante Thesen zu Virtuellen Globen im Geographieunterricht. *GW-Unterricht* (115). 70–80.

Schmaucks, D. (1998): Landkarten als synoptisches Medium. *Zeitschrift für Semiotik* 20 (1-2). 7–24.

Schnotz, W. (1993a): Introduction. *Learning and Instruction* 3 (3). 151–155.

Schnotz, W. (1993b): Some Remarks on the Commentary. On the Relation of Dual Coding and Mental Models in Graphics Comprehension. *Learning and Instruction* 3 (3). 247–249.

Schnotz, W. (1994): Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: Weidenmann, B. (Hg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Huber. Bern. 95–147.

Schnotz, W. (2001): Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft* 29 (4). 292–318.

Schnotz, W. (2002): Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In: Issing, L.J. & Klimsa, P. (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Beltz PVU. Weinheim. 3. Auflage. 65–81.

Schnotz, W. (2006): Visuelles Lernen. In: Rost, D.H. (Hg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Beltz. Weinheim. 3. Auflage. 853–859.

Schnotz, W. & Bannert, M. (1999): Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie* 46 (3). 217–236.

Schnotz, W., Picard, E. & Hron, A. (1993): How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics? *Learning and Instruction* 3 (3). 181–199.

Scholz, E., Tanner, G. & Jänckel, R. (1983): Einführung in die Kartographie und Luftbildinterpretation. Studienbücherei Geographie für Lehrer, 16. VEB Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt. Gotha.

Scholz, O.R. (1998): Was heißt es, ein Bild zu verstehen? In: Sachs-Hombach, K. & Rehkämper, K. (Hg.): Bild - Bildwahrnehmung - Bildverarbeitung. Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Studien zur Kognitionswissenschaft. Deutscher Universitäts-Verlag. Wiesbaden. 105–117.

Schramke, W. (1999): Concept Mapping. Schüler strukturieren ihr Wissen. *Praxis Geographie* (7-8). 18–23.

Schrüfer, G. & Schockemöhle, J. (2012): Nachhaltige Entwicklung und Geographieunterricht. In: Haversath, J.-B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 107–132.

Schulz-Heidorf, K. (2017): Die Erfassung individualisierten Unterrichts in Large-Scale-Assessments: Herausforderungen und Perspektiven am Beispiel von IGLU. *Tertium Comparationies - Journal für International und Interkulturell Vergleichende Erziehungswissenschaft* 23 (1). 9–27.

Schunk, D.H. & DiBenedetto, M.K. (2016): Self-Efficacy Theory in Education. In: Wentzel, K.R. & Miele, D.B. (Hg.): Handbook of Motivation at School. Educational Psychology Handbook Series. Routledge. New York. 2nd Edition. 34–54.

Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002): Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In: Jerusalem, M. & Hopf, D. (Hg.): Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen. Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, 44. Beltz. Weinheim. 28–53.

Seger, M. (2001): Satellitenbilder – Technologische Informationen und praktische Hinweise für den Einsatz im Unterricht. In: Sitte, W. & Wohlschlägl, H. (Hg.): Beiträge zur Didaktik des „Geographie und Wirtschaftskunde“-Unterrichts. Materialien zur Didaktik der Geographie und Wirtschaftskunde, 16. Wien. 393–409.

Seybold, H., Frischknecht-Tobler, U. & Nagel, U. (2008): Systemisches Denken - Aufgaben für Forschung und Schulpraxis. In: Frischknecht-Tobler, U., Nagel, U. & Seybold, H. (Hg.): Systemdenken. Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen. Verlag Pestalozzianum an der Pädagogischen Hochschule Zürich. Zürich. 149–156.

Shadish, W.R., Cook, T.D. & Campbell, D.T. (2002): Experimental and qualis-experimental designs for generalized causal inference. Houghton Mifflin. Boston/New York.

Shavelson, R.J. & Ruiz-Primo, M.A. (2005): On the Psychometrics of Assessing Science Understanding. In: Minztes, J.J., Wandersee, J.H. & Novak, J.D: (Hg.): Assessing Science Understanding. A Human Constructivist View. Educational Psychology Series. Academic Press. San Diego. 304–338.

Shikano, S. (2010): Einführung in die Inferenz durch den nichtparametrischen Bootstrap. In: Wolf, C. & Best, H. (Hg.): Handbuch sozialwissenschaftliche Datenanalyse. VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden. 191–204.

Siegmund, A. & Menz, G. (2005): Fernes nah gebracht - Satelliten- und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht. *Geographie und Schule* 154 (4). 2–10.

Siegmund, A., Michel, U., Forkel-Schubert, J. & Jahn, M. (2014): Digitale Medien in der BNE aus Sicht der Geographie. In: Michel, U., Siegmund, A., Ehlers, M., Jahn, M. & Bittner, A. (Hg.): Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Potenziale und Grenzen. oekom. München. 16–24.

Siegmund, A. (2011): Satellitenbilder im Unterricht – eine Ländervergleichsstudie zur Ableitung fernerkundungsdidaktischer Grundsätze. Geographie und ihre Didaktik. Dissertation. Pädagogische Hochschule Heidelberg. Heidelberg.

Sihorsch, W. (1998): Landwirtschaftliche Rekultivierung und Landrückgabe. In: Pflug, W. (Hg.): Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz. Springer. Berlin/Heidelberg. 121–131.

Sinatra, R. (1986): Visual literacy connections to thinking, reading and writing. Charles C. Thomas. Springfield.

Sommer, C. (2005): Untersuchung der Systemkompetenz von Grundschülern im Bereich Biologie. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel.

Sommer, C. & Lücken, M. (2010): System competence – Are elementary students able to deal with a biological system? *Nordic Studies in Science Education* 6 (2). 125–143.

Spannagel, C. & Bescherer, C. (2009): Computerbezogene Selbstwirksamkeitserwartung in Lehrveranstaltungen mit Computernutzung. *Notes on Educational Informatics — Section A: Concepts and Techniques* 5 (1). 23–43.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (Hg.) (1994): Umweltgutachten 1994 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Drucksache, 12/6995. Bonn.

Steiner, G. (2006): Lernen und Wissenserwerb. In: Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Anwendung Psychologie. Beltz PVU. Weinheim/Basel. 5. Auflage. 137–200.

Stemler, S.E. & Tsai, J. (2008): 3 Best Practices in Interrater Reliability. Three Common Approaches. In: Osbone, J. (Hg.): Best practices in quantitative methods. SAGE Publications. Thousand Oaks. 29–50.

Stensvold, M.S. & Wilson, J.T. (1990): The Interaction of Verbal Ability with Concept Mapping in Learning from a Chemistry Laboratory Activity. *Science Education* 74 (4). 473–480.

Stoddart, T., Abrams, R., Gasper, E. & Canaday, D. (2000): Concept maps as assessment in science inquiry learning - a report of methodology. *International Journal of Science Education* 22 (12). 1221–1246.

Stracke, I. (2004): Einsatz computerbasierter concept maps zur Wissensdiagnose in der Chemie. Empirische Untersuchungen am Beispiel des chemischen Gleichgewichts. Internationale Hochschulschriften, 428. Waxmann. Münster.

Sullivan, G.M. & Artino, A.R. (2012): Analyzing and Interpreting Data From Likert-Type Scales. *Journal of Graduate Medical Education* 5 (4). 541–542.

Sundström, A. (2005): Self-Assessment of Knowledge and Abilitiies. A Literature Study. Umeå University. Umeå (EM, 54). Umeå.

Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. (2007): Using Multivariate Statistics. Pearson Education. Boston. 5th Edition.

Thomas, D.R. & Zumbo, B.D. (2012): Difference Scores From the Point of View of Reliability and Repeated-Measures ANOVA: In Defense of Difference Scores for Data Analysis. *Educational and Psychological Measurement* 72 (1). 37–43.

Thompson, B. (2013): Overview of Traditional/Classical Statistical Approaches. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 2 Statistical Analysis. Oxford library of psychology. Oxford University Press. Oxford, USA. 7–25.

Tilbury, D. (2011): Education for Sustainable Development. An Expert Review of Processes and Learning. DESD Monitoring and Evaluation. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris.

Tillmann, A. (2011): Gestaltung kompetenzorientierten Geographieunterrichts – Integration pädagogischer Diagnoseverfahren zur individuellen Förderung von Schülern. In: Meyer, C., Henrÿ, R. & Stöber, G. (Hg.): Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Didaktische Impulse. Westermann. Braunschweig. 147–160.

Tillmann, A. (2014): Eigenständiges Concept Mapping und die Nutzung von Expertenmaps. Eine Vergleichsstudie zu Lerneffektivität und individuellen Lernpräferenzen. *Zeitschrift für Geographiedidaktik/Journal of Geography Education* 42 (2). 1–22.

Tinsley, H.E.A. & Weiss, D.J. (2000): Interrater reliability and agreement. In: Tinsley, H.E.A. & Brown, S.D. (Hg.): Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling. Academic Press. San Diego. 95–124.

Topala, I. & Tomozii, S. (2014): Learning satisfaction: validity and reliability testing for students' learning satisfaction questionnaire (SLSQ). *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (128). 380–386.

Tripto, J., Ben-Zvi Assaraf, O. & Amit, M. (2013): Mapping What They Know: Concept Maps as an Effective Tool for Assessing Students' Systems Thinking. *American Journal of Operations Research* (3). 245–258.

Tsigilis, N. & Theodosiou, A. (2003): Temporal Stability of the Intrinsic Motivation Inventory. *Perceptual and Motor Skills* 97. 271-280.

Turns, J., Atman, C. J. & Adams, R. (2000): Concept Maps for Engineering Education: A Cognitively Motivated Tool Supporting Varied Assessment Functions. *IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION* 43 (2). 164–173.

UBA (Umweltbundesamt) (2013): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Hintergrund. Oktober 2013. Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2015): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland.

Uhlenwinkel, A. (2008): Binnendifferenzierung im Geographieunterricht. *Praxis Geographie* (3). 4-9.

Uhlenwinkel, A. (2012): Binnendifferenzierung. In: Haversath, J.B. (Hg.): Geographiedidaktik. Theorie - Themen - Forschung. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig. 330–343.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (1997): Educating for a Sustainable Future. A Transdisciplinary Vision for Concerted Action. Report of the International Conference: Education and Public Awareness for Sustainability. Thessalonikki, Greece, 8 - 12 December 1997. EPD-97/CONF.401/CLD.1. Paris.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2005): International Implementation Scheme. UNESCO Education Sector, ED/DESD/2005/PI/01. Paris.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2012): Education for Sustainable Development Sourcebook. UNESCO Education Sector. Education for Sustainable Development in Action. Learning and Training Tools, No. 4 / 2012. Paris.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2014): UNESCO Roadmap for Implementing the Global Action Programme on education for Sustainable Development. Paris.

UNESCO, BMBF & German Commission for UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Federal Ministry of Education and Research& German Commission for UNESCO) (2009): Proceedings. UNESCO World Conference on Education for Sustainable Development, 31 March - 2 April 2009, Bonn, Germany. Bonn.

United Nations (1987): Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Cooperation: Environment (A/42/427). New York.

United Nations (1993): Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. Volume I, Resolutions Adopted by the Conference. A/CONF.151/26/Rev.1 (Vol. 1). New York.

United Nations General Assembly (2005): 2005 World Summit Outcome. Resolution adopted by the General Assembly. 24 October 2005 (A/RES/60/1). New York.

Ustin, S.L.,; Zarco-Tejada, P.J., Jacquemoud, S. & Asner, G.P. (2004): Remote Sensing of the Environment: State of the Science and New Directions. In: Ustin, S.L. (Hg.): Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring. Manual of remote sensing, 4. Wiley & Sons. Hoboken. 3rd Edition.679–730.

Vacha-Haase, T. & Thompson, B. (2004): How to Estimate and Interpret Various Effect Sizes. *Journal of Counseling Psychology* 51 (4). 473–481.

Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O. & Frackowiak, R.S.J. (1996): Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature* 383 (6597). 254–256.

Viehrig, K. (2015): Exploring the effects of GIS use on students' achievement in geography. Dissertation. Pädagogische Hochschule Heidelberg. Heidelberg.

Viehrig, K., Greiff, S., Siegmund, A. & Funke, J. (2011): Geographische Kompetenzen fördern – Erfassung der Geographischen Systemkompetenz als Grundlage zur Bewertung der Kompetenzentwicklung. In: Meyer, C., Henřy, R. & Stöber, G. (Hg.): Geographische Bildung. Kompetenzen in didaktischer Forschung und Schulpraxis. Tagungsband zum HGD-Symposium in Braunschweig. Geographiedidaktische Forschungen, 47. Westermann. Braunschweig. 49–57.

Viehrig, K., Siegmund, A., Wüstenberg, S., Greiff, S. & Funke, J. (2012): Systemisches und räumliches Denken in der geographischen Bildung - Erste Ergebnisse zur Überprüfung eines Modells der Geographischen Systemkompetenz. In: Hüttermann, A., Kirchner, P., Schuler, S. & Drieling, K. (Hg.): Räumliche Orientierung. Räumliche Orientierung, Karten und Geoinformation im Unterricht. Tagungsband zum HGD-Symposium in Ludwigsburg. Geographiedidaktische Forschungen, 49. Westermann. Braunschweig. 95–102.

von der Ruhren, N. (1997): Materialien-Handbuch Geographie. Energiewirtschaft, Bergbau/Industrie, Verkehr, 3. Aulis Deubner. Köln.

Wagner, G. (2010): Energieversorgung und Klimaschutz in Deutschland. Diercke Spezial. Westermann. Braunschweig.

Wallace, J.D. & Mintzes, J.J. (1990): The Concept Map as a Research Tool: Exploring Conceptual Change in Biology. *Journal of Research in Science Teaching* 27 (10). 1033–1052.

Wallert, W. (1993): Geomethoden. Neue Übungen mit geographischen Arbeitsmethoden. Klett-Perthes. Stuttgart.

Wals, A.E.J. (2012): Shaping the Education of Tomorrow: 2012 Full-length Report on the UN Decade of Education for Sustainable Development. UNESCO Education Sector. DESD Monitoring & Evaluation - 2012. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris.

Wasserstein, R.L. & Lazar, N.A. (2016): The ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. *The American Statistician* 70 (2). 129–133.

Wastl, R. (2000): Orientierung und Raumvorstellung. Evaluierung unterschiedlicher kartographischer Darstellungen. Klagenfurter Geographische Schriften, 20. Klagenfurt.

Waterman, A.S. (2005): When Effort Is Enjoyed: Two Studies of Intrinsic Motivation for Personally Salient Activities. *Motivation and Emotion* 29 (3). 165–188.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1996): Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft. Jahresgutachten, 1996. Bremerhaven.

Weber, S. & Schumann, M. (2000): Das Concept Mapping Software Tool (COMASOTO) zur Diagnose strukturellen Wissens. In: Mandl, H. & Fischer, F. (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Hogrefe Verlag für Psychologie. Göttingen. 158–179.

Weidenmann, B. (1988): Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern. Huber: Psychologie Forschung. Hans Huber. Bern.

Weidenmann, B. (1991a): Bilder für Lerner. Verstehensprobleme bei didaktischen Bildern. *Fremdsprache Deutsch* 5, 12–16.

Weidenmann, B. (1991b): Lernen mit Bildmedien. Psychologische und didaktische Grundlagen. Beltz. Weinheim/Basel.

Weidenmann, B. (1994): Informierende Bilder. In: Weidenmann, B. (Hg.): Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen. Huber. Bern. 9–58.

Weidenmann, B. (1998): Psychologische Ansätze zur Optimierung des Wissenserwerbs mit Bildern. In: Sachs-Hombach, K. & Rehkämper, K. (Hg.): Bild - Bildwahrnehmung - Bildverarbeitung. Interdisziplinäre Beiträge zur Bildwissenschaft. Studien zur Kognitionswissenschaft. Deutscher Universitäts-Verlag. Wiesbaden. 243–253.

Weidenmann, B (2002): Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Issing, L.J. & Klimsa, P. (Hg.): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis. Beltz PVU. Weinheim. 3. Auflage. 44–63.

Weidenmann, B. (2004a): Bilder zur Wissenskommunikation. In: Reinmann, G. & Mandl, H. (Hg.): Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden. Hogrefe. Göttingen. 300–309.

Weidenmann, B. (2004b): Bildsprachen. Was macht das Gehirn mit Bildern? Was machen Bilder mit dem Gehirn? *Schulmagazin 5 bis 10* 9. 5–7.

Weidenmann, B. (2006): Lernen mit Medien. In: Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. Anwendung Psychologie. Beltz PVU. Weinheim/Basel. 5. Auflage. 425–476.

Weinert, F.E. (2001): Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In: Rychen, D.S. & Salganik, L.H. (Hg.): Defining and selecting key competencies. Hogrefe & Huber. Seattle. 45–65.

West, D.C., Park, J.K. & Pomeroy, J.R. (2002): Concept mapping assessment in medical education: a comparison of two scoring systems. *Medical Education* (36). 820–826.

Westermann Verlag (2008): Diercke Handbuch. Dr. A 1. Westermann. Braunschweig.

Westermann Verlag (2010): Diercke - die Welt im Wandel. Satellitenbildatlas. Westermann. Braunschweig.

Wiegand, P. (2006): Learning and Teaching with Maps. Routledge. London.

Wilcox, R.R. (1994): Estimating Winsorized correlations in a univariate or bivariate random effects model. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* (47). 167–183.

Wilcox, R.R. (2017a): Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing. Statistical Modeling and Decision Science. Elsevier. London/San Diego/Cambridge/Oxford. 4th Edition.

Wilcox, R.R. (2017b): Modern Statistics for the Social and Behavioral Sciences. A Practical Introduction. Taylor & Francis. Boca Raton. 2nd Edition.

Wilcox, R.R. (2017c): Understanding and applying basic statistical methods using R. John Wiley & Sons. Hoboken.

Wilkinson, L. & Task Force on Statistical Inference (1999): Statistical Methods in Psychology Journals. Guidelines and Explanations. *American Psychologist* 54 (8). 594–604.

Williams, C.G. (1998): Using Concept Map to Assess Conceptual Knowledge of Function. *Journal for Research in Mathematics Education* 29 (4). 414–421.

Williams, L. & Gill, D.L. (1995): The role of perceived competence in the motivation of physical activity. *Journal of Sport and Exercise Psychology* (17). 363–378.

Wüthrich, C. (2013): Methodik des Geographieunterrichts. Das geographische Seminar. Westermann. Braunschweig.

Yin, Y., Ruiz-Primo, M.A., Ayala, C.C. & Shavelson, R.J. (2004): A Comparison of Two Construct-a-Concept-Map Science Assessments: Created Linking Phrases and Selected Linking Phrases. CSE Report, 624. Center for the Study of Evaluation, National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing, Graduate School of Education & Information Studies, University of California. Los Angeles.

Yin, Y., Vanindes, J., Ruiz-Primo, M.A., Ayala, C.C. & Shavelson, R.J. (2005): Comparison of Two Concept-Mapping Techniques: Implications for Scoring, Interpretation, and Use. *Journal of Research in Science Teaching* 42 (2). 166–184.

Yuan, K.-H. & Schuster, C. (2013): Overview of Statistical Estimation Methods. In: Little, T.D. (Hg.): The Oxford Handbook of Quantitative Methods. Volume 1 Foundations. Oxford library of psycholog. Oxford University Press. Oxford, USA. 361–387.

Zacharias, W. (2012): Ist kulturell-ästhetische Medienbildung 2.0 nachhaltig? *Kulturelle Bildung. Reflexionen. Argumente. Impulse* 5 (9). 46–48.

Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH (2012): Braunkohle im Energiemix. zeitbild wissen - Naturwissenschaft und Technik im Unterrsicht, Oktober 2012. Berlin

Zeitler, H. (2003): Ausjelöffelt und durchjewühlt. Die Problematik nicht-erneuerbarer Rohstoffe am Beispiel der Lausitz (Katanga-Syndrom). Werkstattmaterialien Bildung für eine nachhaltige Entwicklung, 8. BLK-Programm „21“ – Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.

Zeitler, H. (2005): Lausitz: Armenhaus und Schatztruhe. Ein fachübergreifendes Unterrichtsprojekt zum Thema Energie. *Praxis Geographie* 35 (10). 17–21.

Internetquellen

European Space Agency (2016): ESA. Our Activities. Observing the Earth. Copernicus. Overview. [http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3, geprüft am 27.06.2018].

selfdeterminationtheory.org (2013): Intrinsic Motivation Inventory (IMI). Online verfügbar unter [http://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/, geprüft am 27.06.2018].

Anhang

Anhang 1: Darstellung des ursprünglich gewählten Forschungsdesigns und seiner Weiterentwicklung im Rahmen der Pilotierung

Ausgehend von vorangegangenen Untersuchungen mit teilweise ähnlichen Forschungsfragen ist ursprünglich ein klassisches Prätest-Posttest-Design ausgearbeitet worden. Hierbei ist eine geschlossene Variante des Concept Mapping mit vorgegebenen Konzepten/Verbindungswörtern zum Einsatz gekommen, die aus dem Referenznetz der Bereichsexpert/innen stammten (vgl. Kapitel 4.1). Grund für diese Wahl ist zum einen die geringere kognitive Belastung der Proband/innen und zum anderen die auswertungsökonomische Möglichkeit zu einer objektiven computerbasierten Korrespondenzanalyse gewesen (Kapitel 2.3.2.2).

Nach der Fertigstellung des Referenznetzes bot sich in einem Grundlagenseminar der Abteilung Geographie an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg situativ die Möglichkeit, mit 65 Lehramtsstudierenden des ersten und zweiten Semesters die im Referenznetz enthaltenen Konzepte und Verbindungswörter während einer 25-minütigen Konstruktionszeit erstmalig zu testen[214]. Zielsetzung dieses Testlaufs war die Erprobung der Einsetzbarkeit des Referenznetzes, und hier v.a. eine Einschätzung mit Blick auf die Verständlichkeit der darin verwendeten Begrifflichkeiten (in einer späteren Phase wurde die Einsetzbarkeit dann regulär mit Kursstufenschüler/innen getestet und es wurden sprachliche Anpassungen vorgenommen). Im Anschluss an diesen Probelauf sind die Bereichsexpert/innen darum gebeten worden, aus dem Referenznetz die für sie jeweils wichtigsten/zentralsten 40 Propositionen zum Braunkohleabbau auszuwählen. Aus dieser Selektion sind die 30[215] am häufigsten genannten Verbindungen (aus Repräsentativitätsgründen mit mindestens 33% Nennungshäufigkeit) in das finale Referenznetz übernommen worden (Phase V).

Ursprünglicher Ablauf der Interventionseinheit:
Die gesamte Interventionseinheit wurde mit vier Zeitstunden angesetzt und begann mit einer Begrüßung und Einführung in ihre Inhalte und Zielsetzungen. Zunächst sind die Ausgangsbedingungen im Sinne der dispositionalen Variablenausprägung mittels Fragebogen A erfasst worden (Dauer 15 Minuten). Im Anschluss ist eine Einführung in die Nachhaltigkeitsthematik und die drei Nachhaltigkeitsdimensionen gegeben und am Beispiel der Abholzung des tropischen Regenwaldes in einer Frage-Antwort-Runde (Dauer 12 Minuten) konkretisiert worden. Über die Vielfalt und Komplexität potenziell relevanter Inhalte aus den drei Dimensionen wurde ein Bogen gespannt zum Concept Mapping. Es folgte deren ausführliche Vorstellung (Konzepte, Verbindungspfeile, Verbindungswörter), die Betonung der Konstruktion möglichst enger, präziser und sinnstiftender Propositionen sowie der Möglichkeit zu ihrer Veränderung in der verwendeten Concept-Mapping-Software[216] (Dauer 33 Minuten). Im Anschluss an eine erste Pause (Dauer 10 Minuten) ist das Systemvorwissen zum Braunkohleabbau unter Verwendung der Konzepte/Verbindungswörter aus dem Referenznetz erfasst worden (Dauer 25

[214] Die Studierenden erhielten nach einer 15-minütigen Einführung in die Methode und der gemeinsamen Erstellung einer ersten Probe-CM die Gelegenheit, anhand der vorgegebenen Begriffe/Verbindungswörter aus dem Referenznetz eine eigene CM zu konstruieren. Der Konstruktion ging eine Erhebung der Bekanntheit und Interessantheit der Methode, der Nutzbarkeit der methodischen Einführung sowie der Selbstwirksamkeit in Bezug auf die bevorstehende Konstruktion voraus. Im Anschluss an die Konstruktion wurden das eigene Wissen zur Thematik sowie in einer Abwandlung des Fragebogens von Stracke (2004) verschiedene Aspekte zum Concept Mapping selbst ermittelt, die größtenteils mit denen in Fragebogen B (Kapitel 4.3.2.2) bzw. Fragebogen C (Kapitel 4.3.2.3) übereinstimmen.

[215] Die Anzahl der Propositionen ist angesichts vergleichbarer Rahmenbedingungen (Konstruktionszeit) in Anlehnung an die Untersuchungen von Eckert (1998), Stracke (2004) und Schaal (2006) festgelegt worden.

[216] Zu Beginn der Pilotierung ist aufgrund der geschlossenen Variante die Software MaNET® (marescom.net) verwendet worden (vgl. Eckert 1998; Stracke 2004; Schaal 2006), bei der Konzepte/Verbindungswörter vorgegeben und mit deren Hilfe automatisierte Korrespondenzanalysen durchgeführt werden können.

Minuten); über Fragebogen B wurde die Interessantheit, Handhabbarkeit und Nützlichkeit ermittelt. Im Anschluss sind die zentralen Aspekte der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern (Entstehung, Kanäle und Kanalkombinationen, Echt- und Falschfarbenbilder sowie verschiedene Raumauflösungen) bei der UG sowie von topographischen Karten (Informationsvielfalt, Punkt-, Linien- und Flächensymbole, verschiedene Kartenmaßstäbe und ihre Aussagekraft, Informationsebenen, Relevanz der Kartenlegende für den Decodierungsprozess) bei der VG angesprochen worden. Am konkreten Beispiel des Ausbaus des Flughafens Halle-Leipzig nach 1990 ist die Erkennung und Interpretation von Bild- bzw. Karteninhalten sowie der Vergleich verschiedener Satellitenbilder bzw. topographischer Karten einmalig im Programm ArcMap 10 geübt worden, wobei die Proband/innen am Ende ihre Gedanken über die ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen äußern konnten (Dauer 25 Minuten). Das Methodentraining fungierte als mentale Einstimmung auf die nachfolgende Aufgabe in der Intervention sowie zugleich als praktische Vorbereitung auf die computerbasierte Arbeit. Nach einer 10-minütigen Pause erarbeiteten die Proband/innen sich bild- bzw. kartenbasiert die Thematik des Braunkohleabbaus und seiner Auswirkungen im Rheinischen Braunkohlerevier und machten sich entsprechende Notizen (Dauer 45 Minuten). Hierfür stand beiden Gruppen im Programm ArcMap 10 das jeweilige Medium aus Kapitel 4.4.2 zur Verfügung. Unmittelbar im Anschluss erfolgte der Posttest mit der erneuten Konstruktion einer CM zum System unter Vorgabe der gleichen Konzepte und Verbindungswörter. Da nicht die Fähigkeit zum Behalten des angeeigneten Wissens im Fokus stand, sondern die bild- bzw. kartenbasiert herausgearbeiteten Systeminformationen, ist den Proband/innen erlaubt worden, ihre Notizen während des Posttests (Dauer 25 Minuten) zu verwenden. Anschließend wurde Fragebogen C ausgefüllt. Auf eine Pause (Dauer 10 Minuten) folge eine abschließende Diskussion über die Nachhaltigkeit des Braunkohleabbaus auf der Basis der aus dem jeweiligen Medium herausgearbeiteten ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen sowie über alternative Energieträger und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile.

Erprobung des ursprünglichen Designs in der Pilotierung:
Mit diesem ursprünglichen Design wurde die Pilotierung gestartet, an der zwischen März und Juli 2013 insgesamt 12 Klassen mit 192 Kursstufenschüler/innen teilnahmen[217]. Die gesamte Pilotierung kann in einen ersten Block mit dem Ursprungsdesign (*N* = 127 Probanden) sowie in einen zweiten Block mit dem finalen Design (*N* = 65 Probanden) unterteilt werden.

Jeweils im unmittelbaren Anschluss an die einzelnen Durchführungen mit einer Klasse ist in Anlehnung an Prüfer & Rexroth (1996) eine Diskussion mit den Probanden (Focus Groups) sowie ein längeres Gespräch mit der Lehrkraft mit dem Ziel durchgeführt worden, Auskunft über die Adressantengemäßheit der gesamten Einheit, v.a. des Medieneinsatzes (vgl. Hieber et al. 2009; Ringel 2012: 181/187) und der anderen Aspekte (Thema, Concept Mapping und visuelle Auswertung), zu erhalten. Zur weiteren Absicherung sind nach Prüfer & Rexroth (1996) die statistischen Verteilungen des Antwortverhaltens in den drei Fragebögen auf wenig oder nicht besetzte Antwortkategorien bzw. extreme Häufigkeitsverteilungen hin analysiert worden.

Entscheidung für die Weiterentwicklung des ursprünglichen Designs:
Anhand der Fragebogenergebnisse, den Gesprächen mit Lehrkräften und Proband/innen und den eigenen Beobachtungen ist schließlich die Entscheidung zur Weiterentwicklung des Designs getroffen worden. Sowohl datenbasiert als auch in den Beobachtungen und Gesprächen hat sich – über beide

[217] Von den 12 Klassen waren fünf aus der Jahrgangsstufe 11 und sieben aus der Jahrgangsstufe 12. Jeweils sechs Klassen arbeiteten mit Luft- und Satellitenbildern (*N* = 97 Probanden) bzw. mit topographischen Karten (*N* = 95 Probanden).

Testgruppen hinweg – gezeigt, dass der ursprüngliche Zeitrahmen von 25 Minuten für das Concept Mapping im Prätest etwas zu kurz angesetzt war und es v.a. bei der Prätest-CM mitunter (eher) schwer gefallen war, die vorgegebenen Konzepte miteinander zu verknüpfen und die vorgegebenen Verbindungswörter mit den eigenen Gedanken in Verbindung zu bringen. Letzterer Punkt zeigte sich wiederholt über die Durchführungen hinweg als ein Einflussfaktor auf die Konstruktion der CM, da Proband/innen explizit nachgefragten, ob sie nicht auch eigene Konzepte/Verbindungswörter nutzen könnten, weil es ihnen schwer fallen würde, die vorgegebenen zu verwenden. Während der Konstruktion zeigte sich zudem, dass manche Proband/innen versuchten, durch logische Ausschlussverfahren passende Verbindungswörter zu finden. Des Weiteren haben zahlreiche Proband/innen mündlich ihren Unmut über die erneute Konstruktion der CM von Grund auf im Posttest geäußert (vgl. die diesbezüglichen Ausführungen in Kapitel 2.3.2.1).

Anpassungen am ursprünglichen Design und Auswirkungen:
Aus den in Kapitel 4.3.1.2 beschriebenen Gesichtspunkten heraus wurde der Übergang von der geschlosseneren Variante im Prätest-Posttest-Format mittels der Software MaNET® hin zu der völlig offenen Variante mit Modifikationsansatz mittels der Software CmapTools vollzogen und die Dauer der CM_{vorw}-Konstruktion auf 30 Minuten erweitert. Es wurde die am Ende zu beantwortende Leitfrage (Kapitel 4.4.1.1) eingeführt und durch die abschließende Besprechung der Modifikation im Plenum unter Bezugnahme auf die Luft- und Satellitenbilder bzw. die topographischen Karten (Kapitel 4.4.1.7) eine größere Verbindlichkeit der Arbeitsphasen anvisiert. Das Methodentraining zum Concept Mapping[218] (Kapitel 4.4.1.3) sowie das zur Auswertung von Luft- und Satellitenbildern bzw. topographischen Karten[219] (Kapitel 4.4.1.5) konnten zeitlich gekürzt werden. Als mentale Einstimmung in die visuelle Auswertung wurde die kurze Filmsequenz in Kapitel 4.4.1.6 eingeführt. Die visuelle Auswertung und Modifikation der CM_{vorw} wurde auf 75 Minuten erweitert. Die Gestaltung der Arbeit mit dem jeweiligen Medium in ArcMap 10 wurde angepasst und es sind die Arbeitsblätter in Kapitel 4.4.2.3 als Leitfaden für die visuelle Auswertung eingeführt worden (vgl. Siegmund & Menz 2005). Ferner wurden Items zur visuellen Auswertung, auch in Verbindung mit der CM-Modifikation, in Fragebogen C aufgenommen. Die Abschlussdiskussion wurde an die Beantwortung der Leitfrage angepasst und auf den Vorher-Nachher-Vergleich der CMs und die Diskussion über die Nachhaltigkeit des Braunkohleabbaus auf der Basis der visuell wahrgenommenen Systeminformationen stärker fokussiert.

Das geänderte Design ist im zweiten Block der Pilotierung mit 65 Proband/innen getestet worden. Von den Lehrkräften sind die o.g. Anpassungen als hilfreich und förderlich bezeichnet worden. Auf der Grundlage dessen sowie anhand der Auskünfte der Proband/innen und der Fragebogenergebnisse ist schließlich die Entscheidung getroffen worden, das weiterentwickelte Design mit den erweiterten Fragebögen, den angepassten Materialien und der veränderten Ablaufstruktur als Interventionseinheit in der Haupterhebung einzusetzen.

[218] Das Methodentraining konnte zeitlich gekürzt werden, da sich zügig und konsistent gezeigt hat, dass die Proband/innen mit der Software CmapTools schnell zurechtkamen und die Methodik an verstanden. Trotzdem wurde nach jedem Training gefragt, ob noch Unklarheiten bezogen auf die Methodik bzw. die Software bestehen.

[219] Nach Feedback zahlreicher Lehrkräfte ist das Methodentraining zeitlich gekürzt worden, wobei versucht worden ist, ein Kompromiss einzugehen zwischen einem möglichst kurzen, jedoch in ausreichendem Maße informativen Methodentraining, das die Proband/innen adäquat auf die eigene visuelle Auswertung vorbereitet.

Anhang 2: Fragebogen A – Erhebung der dispositionalen Ausprägung von KVs

Im Folgenden dargestellt ist der Fragebogen für die UG. Der Fragebogen für die VG enthält identische Items. Eine Ausnahme hiervon sind die medienspezifischen Items 11 [PV10] bis 16 [PV15], für die an betreffender Stelle auch der Wortlaut aus dem Fragebogen für die VG wiedergegeben ist.

Informationen_Kursteilnehmer_FE-Kurs

Liebe Kursteilnehmerin, lieber Kursteilnehmer,

bevor wir mit unserem heutigen Kurs zum Thema
„**Abbau von Braunkohle und die Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft**"
beginnen, möchten wir Sie bitten, diesen Fragebogen kurz auszufüllen.

Jede Ihrer Antworten ist wichtig und hilft uns, Ihr Wissen und Ihre Fähigkeiten richtig einzuschätzen.
Es ist wichtig, dass Sie die Fragen **sorgfältig lesen** und **ehrlich beantworten**.

Selbstverständlich erfährt Ihre Lehrerin / Ihr Lehrer **nichts** von den Antworten!
Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungszwecken.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Diese Umfrage enthält 29 Fragen.

Personencode

1 [PV00]

Erstellen Sie bitte einen Personencode, der nur für Sie gilt.
Den sechsstelligen Personencode erstellen Sie folgendermaßen:
1. Stelle = Anfangsbuchstabe Ihres Nachnamens.
2. Stelle = Anfangsbuchstabe der Straße, in der Sie wohnen.
3. und 4. Stelle = Ihr Geburtstag.
5. Stelle = Anfangsbuchstabe des Vornamens Ihrer Mutter.
6. Stelle = Anfangsbuchstabe des Vornamens Ihres Vaters.

Ein Beispiel:
Name: Sonja *R*udolph
Straße: *K*olbenweg 13
Geburtsdatum: *07*.10.1992
Name Mutter: *G*isela Müller
Name Vater: *D*etlef Müller

Der Personencode von Sonja Rudolph lautet: *rk07gd*.

Geben Sie bitte Ihren Personencode in das leere Feld unten ein:
WICHTIG: Alle Buchstaben bitte klein schreiben!

Schreiben Sie Ihren Personencode bitte auf einen Zettel. *

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Computer

Während des heutigen Kurses werden Sie mit dem *Computer* arbeiten. Uns interessieren deshalb Ihre Erfahrungen im Umgang mit dem Computer.

2 [PV01]

Wie viel Erfahrung haben Sie im Umgang mit dem Computer? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○ **Sehr viel**

" class="input-radio" />

Sehr viel

○ Viel

" class="input-radio" />

Viel

○ **Mittelmäßig**

" class="input-radio" />

Mittelmäßig

○ **Wenig**

" class="input-radio" />

Wenig

○ Überhaupt keine

" class="input-radio" />

Überhaupt keine

3 [PV02]

Wie viel Zeit verbringen Sie durchschnittlich pro Tag vor dem Computer? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○ Ich nutze keinen Computer

" class="input-radio" />

Ich nutze keinen Computer

○ 0 bis ½ Stunde

" class="input-radio" />

0 bis ½ Stunde

○ ½ bis 1 Stunde

" class="input-radio" />

½ bis 1 Stunde

○ 1 bis 2 Stunden

" class="input-radio" />

1 bis 2 Stunden

○ 2 bis 4 Stunden

" class="input-radio" />

2 bis 4 Stunden

○ Mehr als 4 Stunden

" class="input-radio" />

Mehr als 4 Stunden

4 [PV03]

Schätzen Sie sich bitte beim Umgang mit dem Computer ein. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Ich kann gut mit Computern umgehen.	○	○	○	○	○
Ich finde das Arbeiten mit Computern sehr einfach.	○	○	○	○	○
Ich mag es mit Computern zu arbeiten.	○	○	○	○	○
Ich glaube ich werde immer Probleme im Umgang mit Computern haben.	○	○	○	○	○
Ich interessiere mich sehr für die Arbeit mit Computern.	○	○	○	○	○
Den Umgang mit Computern finde ich viel zu kompliziert.	○	○	○	○	○
Bei der Arbeit mit Computern habe ich Angst, Fehler zu machen.	○	○	○	○	○

Thema "Abbau von Braunkohle"

In dem heutigen Kurs geht es um das Thema „*Abbau von Braunkohle*". Wir würden von Ihnen gerne wissen, wie viel Erfahrung Sie mit dem Thema haben und wie interessant Sie das Thema finden.

5 [PV04]

Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema *Abbau von Braunkohle* (z.B. aus dem Schulunterricht)? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Sehr viel

" class="input-radio" />

Sehr viel

○Viel

" class="input-radio" />

Viel

○Mittelmäßig

" class="input-radio" />

Mittelmäßig

○**Wenig**

" class="input-radio" />

Wenig

○Überhaupt keine

" class="input-radio" />

Überhaupt keine

6 [PV05]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Thema *Abbau von Braunkohle* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '5 [PV04]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema Abbau von Braunkohle (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Ich finde das Thema "Abbau von Braunkohle" interessant.	○	○	○	○	○
Das Thema "Abbau von Braunkohle" bringt mir was.	○	○	○	○	○
Ich möchte mehr über das Thema "Abbau von Braunkohle" erfahren.	○	○	○	○	○

7 [PV06]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Thema *Abbau von Braunkohle* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '5 [PV04]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema Abbau von Braunkohle (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Das Thema "Abbau von Braunkohle" könnte interessant für mich sein.	○	○	○	○	○
Das Thema "Abbau von Braunkohle"könnte mir was bringen.	○	○	○	○	○
Ich möchte etwas über das Thema "Abbau von Braunkohle" erfahren.	○	○	○	○	○

Thema "Nachhaltigkeit"

Im heutigen Kurs werden Sie den Abbau von Braunkohle auf seine *Nachhaltigkeit* hin untersuchen. Wir würden von Ihnen gerne wissen, wie viel Erfahrung Sie mit dem Thema haben und wie interessant Sie das Thema finden.

8 [PV07]

Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema *Nachhaltigkeit* (z.B. aus dem Schulunterricht)? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Sehr viel

" class="input-radio" />

Sehr viel

○Viel

" class="input-radio" />

Viel

○Mittelmäßig

" class="input-radio" />

Mittelmäßig

○**Wenig**

" class="input-radio" />

Wenig

○Überhaupt keine

" class="input-radio" />

Überhaupt keine

9 [PV08]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Thema *Nachhaltigkeit* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '8 [PV07]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema Nachhaltigkeit (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Ich finde das Thema Nachhaltigkeit interessant.	○	○	○	○	○
Das Thema Nachhaltigkeit bringt mir was.	○	○	○	○	○
Ich möchte mehr über das Thema Nachhaltigkeit erfahren.	○	○	○	○	○

10 [PV09]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Thema *Nachhaltigkeit* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '8 [PV07]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Thema Nachhaltigkeit (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Das Thema Nachhaltigkeit könnte interessant für mich sein.	○	○	○	○	○
Das Thema Nachhaltigkeit könnte mir was bringen.	○	○	○	○	○
Ich möchte etwas über das Thema Nachhaltigkeit erfahren.	○	○	○	○	○

Luft- bzw. Satellitenbilder UG

Im heutigen Kurs werden Sie die Nachhaltigkeit des Abbaus von Braunkohle auf der Grundlage der Arbeit mit *Luft- bzw. Satellitenbildern* kennenlernen. Teilen Sie uns bitte kurz mit, wie viel Erfahrung Sie mit Luft- bzw. Satellitenbildernhaben und wie interessant Sie diese finden.

11 [PV10]
Wie oft haben Sie schon mit *Luft-* bzw. *Satellitenbildern* in der Schule gearbeitet?
*

Topographische Karten VG

Im heutigen Kurs werden Sie die Nachhaltigkeit des Abbaus von Braunkohle auf der Grundlage der Arbeit mit *Topographischen Karten* kennenlernen. Teilen Sie uns bitte kurz mit, wie viel Erfahrung Sie mit Topographischen Karten und anderen Karten haben und wie interessant Sie diese finden.

11 [PV10]
Wie oft haben Sie schon mit *Topographischen Karten* bzw. *Wanderkarten* (die viele Gemeinsamkeiten mit Topographischen Karten haben) in der Schule gearbeitet?
*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Durchschnittlich 1 x pro Woche

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Woche

○Durchschnittlich 1 x pro Monat

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Monat

○Durchschnittlich 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Jahr

○Weniger als 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Weniger als 1 x pro Jahr

○Noch nie

" class="input-radio" />

Noch nie

12 [PV11] UG

In welcher Form wurden die*Luft-* bzw. *Satellitenbilder* in der Schule eingesetzt? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
* Die Antwort war bei Frage "11 [PV10]' (Wie oft haben Sie schon mit Luft- bzw. Satellitenbildern in der Schule gearbeitet?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

☐Als ausgedruckte Bilder (z.B. im Schulbuch, auf Folien, auf Arbeitsblättern usw.)

" class="input-checkbox" />

Als ausgedruckte Bilder (z.B. im Schulbuch, auf Folien, auf Arbeitsblättern usw.)

☐In einer Präsentation (z.B. vom Lehrer oder von Mitschülern)

" class="input-checkbox" />

In einer Präsentation (z.B. vom Lehrer oder von Mitschülern)

☐Am Computer (z.B. mit „Google Maps" oder „Google Earth")

" class="input-checkbox" />

Am Computer (z.B. mit „Google Maps" oder „Google Earth")

12 [PV11] VG

In welcher Form wurden die*Topographischen Karten* bzw. *Wanderkarten* in der Schule eingesetzt? *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
* Die Antwort war bei Frage "11 [PV10]' (Wie oft haben Sie schon mit Topographischen Karten bzw. Wanderkarten (die viele Gemeinsamkeiten mit Topographischen Karten haben) in der Schule gearbeitet?)

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

☐Als ausgedruckte Karten (z.B. im Schulbuch, auf Folien, auf Arbeitsblättern usw.)

" class="input-checkbox" />

Als ausgedruckte Karten (z.B. im Schulbuch, auf Folien, auf Arbeitsblättern usw.)

☐Als Papierkarte(n), wie man sie im Geschäft kaufen kann

" class="input-checkbox" />

Als Papierkarte(n), wie man sie im Geschäft kaufen kann

☐Am Computer (z.B. mit "*Google Maps*" oder "*Dircke Globus Online*")

" class="input-checkbox" />

Am Computer (z.B. mit "*Google Maps*" oder "*Dircke Globus Online*")

13 [PV12] UG

Wie oft haben Sie sich schon privat mit *Luft-* bzw. *Satellitenbildern* beschäftigt? *

13 [PV12] VG

Wie oft haben Sie sich schon privat mit *Topographischen Karten* bzw. *Wanderkarten* beschäftigt? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Durchschnittlich 1 x pro Woche

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Woche

○Durchschnittlich 1 x pro Monat

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Monat

○Durchschnittlich 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Jahr

○Weniger als 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Weniger als 1 x pro Jahr

○Noch nie

" class="input-radio" />

Noch nie

14 [PV13] UG

Wie oft "erkunden" Sie die Erde am Computer mit *Luft-* bzw. *Satellitenbildern*, z.B. über „*Google Maps*" oder „*Google Earth*"? *

14 [PV13] VG

Wie oft "erkunden" Sie die Erde am Computer mit Karten, z.B. über „*Google Maps*", „*Bing Maps*" oder „*Diercke Globus Online*"? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Durchschnittlich 1 x pro Woche

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Woche

○Durchschnittlich 1 x pro Monat

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Monat

○Durchschnittlich 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Durchschnittlich 1 x pro Jahr

○Weniger als 1 x pro Jahr

" class="input-radio" />

Weniger als 1 x pro Jahr

○Überhaupt nicht

" class="input-radio" />

Überhaupt nicht

15 [PV14] UG

Bei „*Google Maps*" kann man sich die Erde als Luft- bzw. Satellitenbilder oder als Karten anzeigen lassen.

Welche Ansicht verwenden Sie in der Regel, um die Erde zu „erkunden"? *

15 [PV14] VG

Bei „*Google Maps*" kann man sich die Erde als Luft- bzw. Satellitenbilder oder als Karten anzeigen lassen.

Welche Ansicht verwenden Sie in der Regel, um die Erde zu „erkunden"? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Nur die Luft- bzw. Satellitenbildansicht

" class="input-radio" />

Nur die Luft- bzw. Satellitenbildansicht

○Nur die Kartenansicht

" class="input-radio" />

Nur die Kartenansicht

○Beide Ansichten (Luft- bzw. Satellitenbild und Karten)

" class="input-radio" />

Beide Ansichten (Luft- bzw. Satellitenbild und Karten)

UG

16 [PV15]

Schätzen Sie sich bitte beim Umgang mit *Luft-* bzw. *Satellitenbildern* ein. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Ich kann gut mit Luft- bzw. Satellitenbildern umgehen.	○	○	○	○	○
Ich finde die Arbeit mit Luft- bzw. Satellitenbildern sehr einfach.	○	○	○	○	○
Ich mag es mit Luft- bzw. Satellitenbildern zu arbeiten.	○	○	○	○	○
Ich glaube ich werde immer Probleme im Umgang mit Luft- bzw. Satellitenbildern haben.	○	○	○	○	○
Ich interessiere mich sehr für die Arbeit mit Luft- bzw. Satellitenbildern.	○	○	○	○	○
Den Umgang mit Luft- bzw. Satellitenbildern finde ich viel zu kompliziert.	○	○	○	○	○

VG

16 [PV15]

Schätzen Sie sich bitte beim Umgang mit *Karten allgemein* ein. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Ich kann gut mit Karten umgehen.	○	○	○	○	○
Ich finde die Arbeit mit Karten sehr einfach.	○	○	○	○	○
Ich mag es mit Karten zu arbeiten.	○	○	○	○	○
Ich glaube ich werde immer Probleme im Umgang mit Karten haben.	○	○	○	○	○
Ich interessiere mich sehr für die Arbeit mit Karten.	○	○	○	○	○
Den Umgang mit Karten finde ich viel zu kompliziert.	○	○	○	○	○

Beziehungsnetz (Concept Map)

Im Laufe des heutigen Kurses werden Sie die Möglichkeit bekommen, Ihr Wissen zum Thema „Abbau von Braunkohle" in Form eines *Beziehungsnetzes* (einer *Concept Map*) darzustellen. In einem Beziehungsnetz werden Begriffe über Verbindungspfeile miteinander in eine Beziehung gesetzt (so ähnlich wie bei einer *Mind Map*). Teilen Sie uns bitte Ihre Erfahrung und Ihr Interesse mit, was das Erstellen eines Begriffsnetzes (Concept Map) angeht.

17 [PV16]

Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Erstellen einer *Mind Map* (z.B. aus dem Schulunterricht)? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Sehr viel

" class="input-radio" />

Sehr viel

○Viel

" class="input-radio" />

Viel

○Mittelmäßig

" class="input-radio" />

Mittelmäßig

○**Wenig**

" class="input-radio" />

Wenig

○Überhaupt keine

" class="input-radio" />

Überhaupt keine

18 [PV17]

Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Erstellen einer *Concept Map* (z.B. aus dem Schulunterricht)? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Sehr viel

" class="input-radio" />

Sehr viel

○Viel

" class="input-radio" />

Viel

○Mittelmäßig

" class="input-radio" />

Mittelmäßig

○**Wenig**

" class="input-radio" />

Wenig

○Überhaupt keine

" class="input-radio" />

Überhaupt keine

19 [PV18]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Erstellen einer *Concept Map* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '18 [PV17]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Erstellen einer Concept Map (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Ich finde das Erstellen einer Concept Map interessant.	○	○	○	○	○
Das Erstellen einer Concept Map bringt mir was.	○	○	○	○	○
Ich möchte mehr über das Erstellen einer Concept Map erfahren.	○	○	○	○	○

20 [PV19]

Geben Sie bitte Ihr Interesse am Erstellen einer *Concept Map* an. *

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
" Die Antwort war bei Frage '18 [PV17]' (Wie viel Erfahrung haben Sie mit dem Erstellen einer Concept Map (z.B. aus dem Schulunterricht)?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu.	Trifft eher nicht zu.	Teils, teils.	Trifft eher zu.	Trifft völlig zu.
Das Erstellen einer Concept Map könnte interessant für mich sein.	○	○	○	○	○
Das Erstellen einer Concept Map könnte mir was bringen.	○	○	○	○	○
Ich möchte etwas über das Erstellen einer Concept Map erfahren.	○	○	○	○	○

Angaben zur Person

Zum Schluss bräuchten wir noch ein paar Angaben zu Ihrer Person.

21 [PV20]

Geben Sie bitte Ihr Alter an: *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ 14 Jahre
- ○ 15 Jahre
- ○ 16 Jahre
- ○ 17 Jahre
- ○ 18 Jahre
- ○ 19 Jahre
- ○ 20 Jahre

22 [PV21]Geben Sie bitte Ihr Geschlecht an: *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ weiblich
- ○ männlich

23 [PV22]

Geben Sie bitte die Klassenstufe an, die Sie besuchen: *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○13. Klasse

" class="input-radio" />

13. Klasse

○12. Klasse

" class="input-radio" />

12. Klasse

○11. Klasse

" class="input-radio" />

11. Klasse

○**10. Klasse**

" class="input-radio" />

10. Klasse

24 [PV23]

Geben Sie bitte an, wie viele Stunden Sie das Fach Erdkunde/Geographie in der Woche haben: *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○ Ich habe kein Erdkunde/Geographie in der Woche.
○ Ich habe 2 Stunden Erdkunde/Geographie in der Woche.
○ Ich habe 4 Stunden Erdkunde/Geographie in der Woche.

25 [PV24]

Seit wie vielen Jahren sprechen Sie die deutsche Sprache? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○Seit meiner Geburt.

" class="input-radio" />

Seit meiner Geburt.

○Seit ... Jahren (Bitte tragen Sie in das Kommentarfeld rechts die Anzahl der Jahre ein, seit denen Sie die deutsche Sprache sprechen).

" class="input-radio" />

Seit ... Jahren (Bitte tragen Sie in das Kommentarfeld rechts die Anzahl der Jahre ein, seit denen Sie die deutsche Sprache sprechen).

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

26 [PV25]

Welche Note hatten Sie als Letztes im Fach Erdkunde/Geographie bzw. GWG? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○1 (sehr gut)

" class="input-radio" />

1 (sehr gut)

○2 (gut)

" class="input-radio" />

2 (gut)

○3 (befriedigend)

" class="input-radio" />

3 (befriedigend)

○4 (ausreichend)

" class="input-radio" />

4 (ausreichend)

○5 (mangelhaft)

" class="input-radio" />

5 (mangelhaft)

○6 (ungenügend)

" class="input-radio" />

6 (ungenügend)

27 [PV26]

Welche Note hatten Sie als Letztes im Fach Deutsch? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○1 (sehr gut)

" class="input-radio" />

1 (sehr gut)

○2 (gut)

" class="input-radio" />

2 (gut)

○3 (befriedigend)

" class="input-radio" />

3 (befriedigend)

○4 (ausreichend)

" class="input-radio" />

4 (ausreichend)

○5 (mangelhaft)

" class="input-radio" />

5 (mangelhaft)

○6 (ungenügend)

" class="input-radio" />

6 (ungenügend)

28 [PV27]

Welche Note hatten Sie als Letztes im Fach Mathematik? *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

○1 (sehr gut)

" class="input-radio" />

1 (sehr gut)

○2 (gut)

" class="input-radio" />

2 (gut)

○3 (befriedigend)

" class="input-radio" />

3 (befriedigend)

○4 (ausreichend)

" class="input-radio" />

4 (ausreichend)

○5 (mangelhaft)

" class="input-radio" />

5 (mangelhaft)

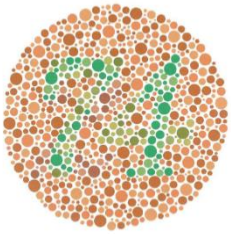
○6 (ungenügend)

" class="input-radio" />

6 (ungenügend)

29 [PV28]

Welche Zahl ist im Bild zu sehen?



Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Anhang 3: Fragebogen B – Erhebung der situationalen Ausprägung der CM_{vorw}-Konstruktion

Im Folgenden dargestellt ist der Fragebogen für die UG. Der Fragebogen für die VG enthält identische Items.

Selbsteinschätzung_Concept_Mapping_FE-Kurs

Liebe Kursteilnehmerin, lieber Kursteilnehmer,

nachdem Sie nun eine Concept Map zum Thema
"Abbau von Braunkohle und die Auswirkungen auf die Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft"
erstellt haben, möchten wir gerne eine kurze Rückmeldung von Ihnen zum Concept Mapping haben.

Jede Ihrer Antworten ist wichtig und hilft uns, Ihre Concept Map richtig einzuschätzen.
Es ist wichtig, dass Sie die Fragen **sorgfältig lesen** und **ehrlich beantworten**.

Selbstverständlich erfährt Ihre Lehrerin / Ihr Lehrer **nichts** von den Antworten!
Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungszwecken.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Diese Umfrage enthält 6 Fragen.

Personencode

1 [FA00]Geben Sie bitte hier Ihren Personencode ein:

WICHTIG: Alle Buchstaben bitte klein schreiben!

Ihr Personencode sollte etwa so aussehen: rk07qd. *

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Interessantheit des Concept Mapping

2 [VCM01]

Geben Sie bitte an, wie interessant Sie das Concept Mapping fanden. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Das Erstellen der Concept Map hat mir Spaß gemacht.	○	○	○	○	○
Die Arbeit an der Concept Map hat mich so fasziniert, dass ich alles um mich herum vergessen habe.	○	○	○	○	○
Das Erstellen der Concept Map fand ich langweilig.	○	○	○	○	○
Ich habe mir beim Erstellen der Concept Map große Mühe gegeben.	○	○	○	○	○

Handhabbarkeit des Concept Mapping

3 [VCM02]

Geben Sie bitte an, wie gut Sie mit dem Concept Mapping zurechtgekommen sind. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Die Methode Concept Mapping ist leicht zu erlernen.	○	○	○	○	○
Der Umgang mit dem Concept-Mapping-Programm ist mir leicht gefallen.	○	○	○	○	○
Mit der von mir erstellten Concept Map bin ich zufrieden.	○	○	○	○	○
Das Erstellen der Concept Map ist mir schwer gefallen.	○	○	○	○	○

4 [VCM03]

Beim Erstellen der Concept Map ist mir schwer gefallen... *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
...eigene Begriffe zu erstellen.	○	○	○	○	○
...mich zu entscheiden, welche Begriffe ich miteinander verbinde.	○	○	○	○	○
...passende Verbindungswörter für die Beziehungen zu finden.	○	○	○	○	○

5 [VCM04]

Geben Sie bitte an, wie Sie mit der verfügbaren Zeit für das Concept Mapping zurechtgekommen sind. *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Die Zeit war zu lang.
- ○ Die Zeit hat genau ausgereicht.
- ○ Ich hätte noch bis zu 5 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch 5 bis 10 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch 10 bis 15 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch mehr als 15 Minuten gebraucht.

Nützlichkeit des Concept Mapping

6 [VCM05]

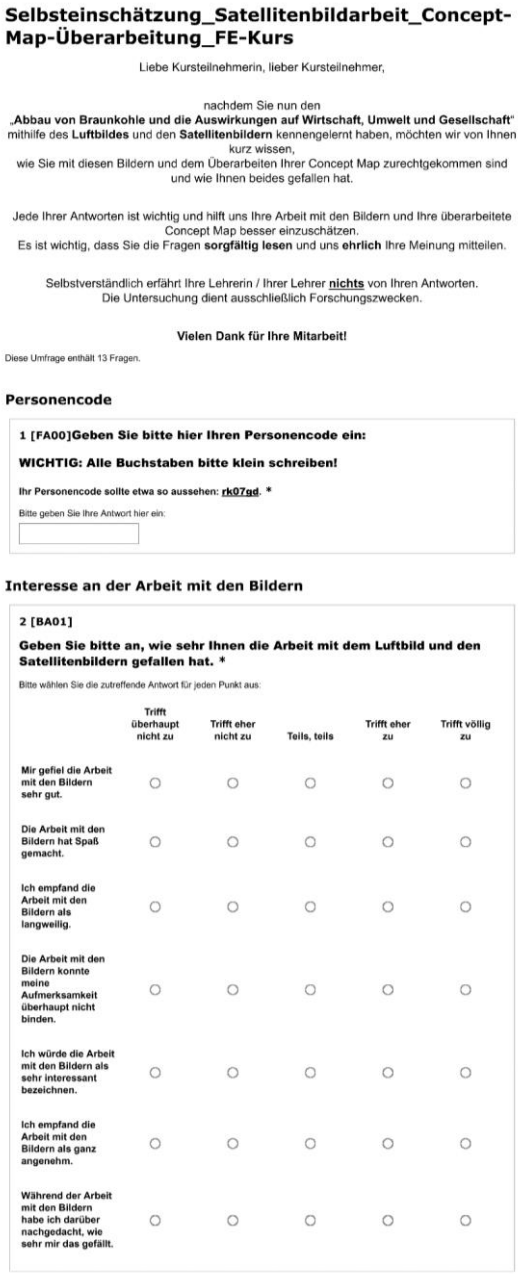
Geben Sie bitte an, wie nützlich Sie das Erstellen der Concept Map fanden. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Durch das Erstellen der Concept Map sind mir eigene Wissenslücken bewusst geworden.	○	○	○	○	○
Durch das Erstellen der Concept Map konnte ich feststellen, ob ich die Beziehung zwischen den Begriffen verstanden habe.	○	○	○	○	○
Beim Concept Mapping habe ich die Gelegenheit gehabt, mein Wissen zu diesem Thema zu zeigen.	○	○	○	○	○
Um eine sinnvolle Concept Map zu erstellen, ist es wichtig, das darzustellende Thema gut zu kennen.	○	○	○	○	○

Anhang 4: Fragebogen C – Erhebung der situationalen Ausprägung der visuellen Auswertung und CM_{vorw}-Modifikation

Im Folgenden dargestellt ist der Fragebogen für die UG. Der Fragebogen für die VG enthält identische Items, wobei »Luftbild« durch »Grundkarte«, »Satellitenbilder« durch »Topographische Karten« und »Bilder« durch »Karten« ersetzt ist.



Selbsteinschätzung_Satellitenbildarbeit_Concept-Map-Überarbeitung_FE-Kurs

Liebe Kursteilnehmerin, lieber Kursteilnehmer,

nachdem Sie nun den
„**Abbau von Braunkohle und die Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft**"
mithilfe des **Luftbildes** und den **Satellitenbildern** kennengelernt haben, möchten wir von Ihnen kurz wissen,
wie Sie mit diesen Bildern und dem Überarbeiten Ihrer Concept Map zurechtgekommen sind und wie Ihnen beides gefallen hat.

Jede Ihrer Antworten ist wichtig und hilft uns Ihre Arbeit mit den Bildern und Ihre überarbeitete Concept Map besser einzuschätzen.
Es ist wichtig, dass Sie die Fragen **sorgfältig lesen** und uns **ehrlich** Ihre Meinung mitteilen.

Selbstverständlich erfährt Ihre Lehrerin / Ihrer Lehrer **nichts** von Ihren Antworten.
Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungszwecken.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Diese Umfrage enthält 13 Fragen.

Personencode

1 [FA00]Geben Sie bitte hier Ihren Personencode ein:

WICHTIG: Alle Buchstaben bitte klein schreiben!

Ihr Personencode sollte etwa so aussehen: rk07gd. *

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Interesse an der Arbeit mit den Bildern

2 [BA01]

Geben Sie bitte an, wie sehr Ihnen die Arbeit mit dem Luftbild und den Satellitenbildern gefallen hat. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Mir gefiel die Arbeit mit den Bildern sehr gut.	○	○	○	○	○
Die Arbeit mit den Bildern hat Spaß gemacht.	○	○	○	○	○
Ich empfand die Arbeit mit den Bildern als langweilig.	○	○	○	○	○
Die Arbeit mit den Bildern konnte meine Aufmerksamkeit überhaupt nicht binden.	○	○	○	○	○
Ich würde die Arbeit mit den Bildern als sehr interessant bezeichnen.	○	○	○	○	○
Ich empfand die Arbeit mit den Bildern als ganz angenehm.	○	○	○	○	○
Während der Arbeit mit den Bildern habe ich darüber nachgedacht, wie sehr mir das gefällt.	○	○	○	○	○

Anstrengung bei der Arbeit mit den Bildern

3 [BA02]

Geben Sie bitte an, wie sehr Sie sich bei der Arbeit mit dem Luftbild und den Satellitenbildern angestrengt haben. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Ich habe mich bei der Arbeit mit den Bildern sehr angestrengt.	○	○	○	○	○
Ich habe mich sehr bemüht, um bei der Arbeit mit den Bildern gut zu sein.	○	○	○	○	○
Ich habe mich sehr bemüht bei der Arbeit mit den Bildern.	○	○	○	○	○
Es war wichtig für mich, bei der Arbeit mit den Bildern gut zu sein.	○	○	○	○	○
Ich habe sehr viel Energie in die Arbeit mit den Bildern gesteckt.	○	○	○	○	○

Wahrgenommene Kompetenz bei der Arbeit mit den Bildern

4 [BA03]

Geben Sie bitte an, wie kompetent Sie sich bei der Arbeit mit dem Luftbild und den Satellitenbildern gefühlt haben. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Ich halte mich für ziemlich gut bei der Arbeit mit diesen Bildern.	○	○	○	○	○
Ich denke, ich war ziemlich gut bei der Arbeit mit den Bildern im Vergleich zu anderen Schülern.	○	○	○	○	○
Nach längerer Arbeit mit den Bildern fühlte ich mich ziemlich kompetent.	○	○	○	○	○
Ich bin mit meiner Leistung bei der Arbeit mit den Bildern zufrieden.	○	○	○	○	○
Ich war ziemlich geschickt bei der Arbeit mit den Bildern.	○	○	○	○	○
Das war eine Arbeit, die ich nicht sehr gut konnte.	○	○	○	○	○

Schwierigkeiten bei der Arbeit mit den Bildern

5 [BA04]

Bei der Arbeit mit den Bildern ist es mir schwer gefallen,... *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
...überhaupt etwas auf dem Luftbild zu erkennen.	○	○	○	○	○
...überhaupt etwas auf den Satellitenbildern zu erkennen.	○	○	○	○	○
...die Bilder miteinander zu vergleichen.	○	○	○	○	○

6 [BA05]

Bei der Arbeit mit den Bildern ist es mir schwer gefallen,... *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
...Begriffe zum Thema Braunkohleabbau auf den Bildern zu sehen.	○	○	○	○	○
...Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau auf den Bildern zu sehen.	○	○	○	○	○
...Hinweise auf Begriffe zum Thema Braunkohleabbau auf den Bildern zu finden.	○	○	○	○	○
...Hinweise auf Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau auf den Bildern zu finden.	○	○	○	○	○
...sonstige Begriffe zum Thema Braunkohleabbau zu finden.	○	○	○	○	○
...sonstige Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau zu finden.	○	○	○	○	○

Nützlichkeit der Arbeit mit den Bildern

7 [BA06]

Durch die Arbeit mit den Bildern konnte ich mir die "Bewegung" des Braunkohleabbaus in dem dargestellten Gebiet sehr gut vorstellen. *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Trifft überhaupt nicht zu
- ○ Trifft eher nicht zu
- ○ Teils, teils
- ○ Trifft eher zu
- ○ Trifft völlig zu

8 [BA07]

Durch die Arbeit mit den Bildern konnte ich mir die Auswirkungen des Braunkohleabbaus... *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
...im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen.	○	○	○	○	○
...im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen.	○	○	○	○	○
...im Bereich Gesellschaft sehr gut vorstellen.	○	○	○	○	○

Nützlichkeit der Concept-Map-Überarbeitung

9 [CMÜ08]

Geben Sie bitte an, wie nützlich Sie das Überarbeiten der Concept Map fanden. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Beim Überarbeiten der Concept Map konnte ich eigene Wissenslücken aus der ersten Concept Map füllen.	○	○	○	○	○
Beim Überarbeiten der Concept Map habe ich festgestellt, dass ich Beziehungen zwischen Begriffen erstellen konnte, die ich vorher nicht hatte.	○	○	○	○	○
Ich finde, dass die überarbeite Concept Map viel besser geworden ist als die erste.	○	○	○	○	○

Handhabbarkeit der Concept-Map-Überarbeitung

10 [CMÜ09]

Geben Sie bitte an, wie gut Sie beim Überarbeiten der Concept Map zurechtgekommen sind. *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
Die Überarbeitung mit dem Concept-Mapping-Programm ist mir leicht gefallen.	○	○	○	○	○
Mit der überarbeiteten Concept Map bin ich zufrieden.	○	○	○	○	○
Das Überarbeiten meiner Concept Map ist mir schwer gefallen.	○	○	○	○	○

11 [CMÜ10]

Beim Überarbeiten der Concept Map ist es mir schwer gefallen,... *

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
...mit Begriffen die Informationen zu beschreiben, die mir die Bilder gegeben haben.	○	○	○	○	○
...mich zu entscheiden, welche Begriffe ich miteinander verbinde, um die Beziehungen darzustellen, die ich anhand der Bilder herausgefunden habe.	○	○	○	○	○
...passende Verbindungswörter für die Beziehungen zu finden, die ich anhand der Bilder herausgefunden habe.	○	○	○	○	○

12 [CMÜ11]

Geben Sie bitte an, wie Sie mit der verfügbaren Zeit für die Überarbeitung der Concept Map zurechtgekommen sind. *

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ○ Die Zeit war zu lang.
- ○ Die Zeit hat genau ausgereicht.
- ○ Ich hätte noch bis zu 5 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch 5 bis 10 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch 10 bis 15 Minuten mehr gebraucht.
- ○ Ich hätte noch mehr als 15 Minuten gebraucht.

Anhang 5: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Einstieg und Beantwortung von Fragebogen A

Im Folgenden dargestellt sind die Folien für die UG. Die Folien für die VG identisch, wobei bei Folie 6 »Luft-/Satellitenbilder« durch »Topographische Karten« ersetzt ist.

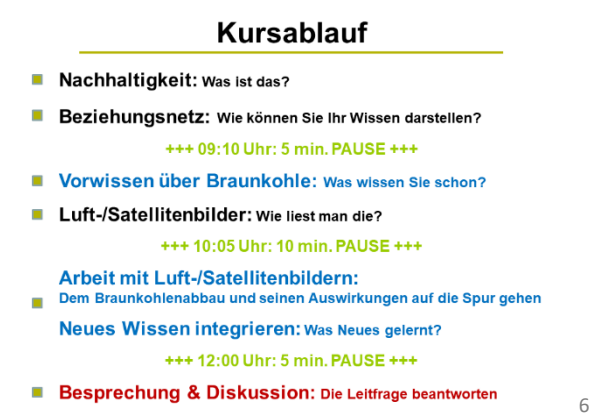
1

2

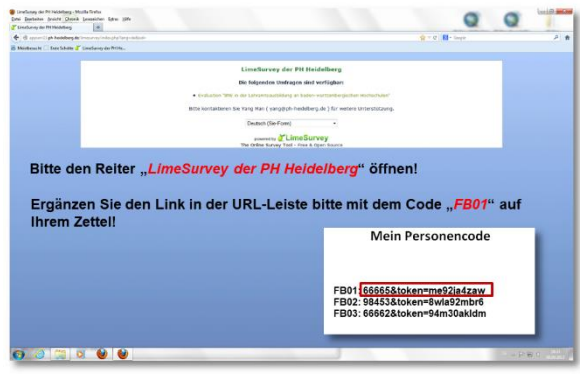
3

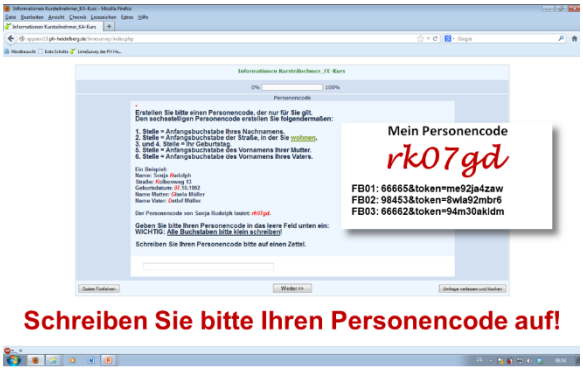
4

5



6





7

Anhang 6: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Nachhaltigkeit

Im Folgenden dargestellt sind die Folien für die UG. Die Folien für die VG identisch, wobei bei Folie 11 »Luft-/Satellitenbilder« durch »Topographische Karten« ersetzt ist.

Was verstehen Sie unter Nachhaltigkeit?

1

2

Die 3 Bereiche der Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit betrifft alle Bereiche des Lebens. In der Regel werden dabei die 3 Bereiche – Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft – voneinander unterschieden.

3

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Ist unser Umgang mit dem Tropischen Regenwald nachhaltig?

Alle 2 Sekunden ein Fußballfeld
(Fläche: ca. 5.000 m²)

Wie groß ist die Regenwaldfläche, die pro Jahr verloren geht?

A: Doppelt so groß wie Heidelberg: ca. 217 km²

B: Doppelt so groß wie Baden-Württemberg: ca. 71.400 km²

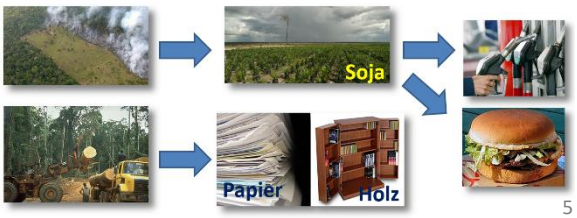
C: Doppelt so groß wie Deutschland: ca. 714.000 km²

4

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Ist unser Umgang mit dem Tropischen Regenwald nachhaltig?

Wirtschaftliche Gründe

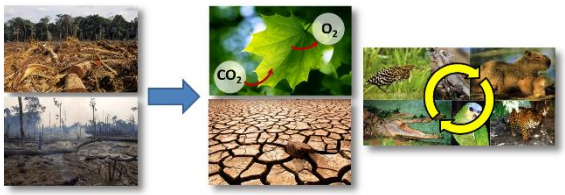


5

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Ist unser Umgang mit dem Tropischen Regenwald nachhaltig?

Folgen für Natur & Umwelt



6

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Ist unser Umgang mit dem Tropischen Regenwald nachhaltig?

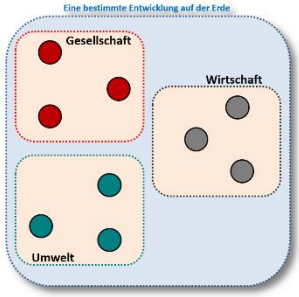
Folgen für Menschen (Gesellschaft)

7

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Eine Entwicklung auf ihre Nachhaltigkeit hin untersuchen

Entwicklungen auf der Erde unter die Lupe nehmen

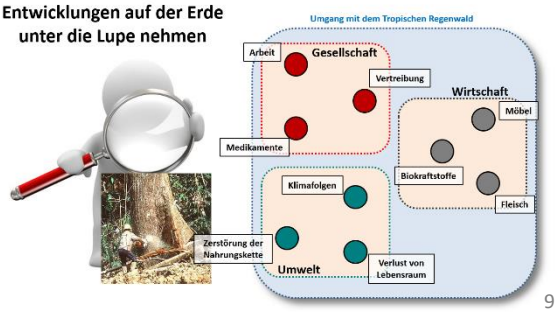


8

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Eine Entwicklung auf ihre Nachhaltigkeit hin untersuchen

Entwicklungen auf der Erde unter die Lupe nehmen

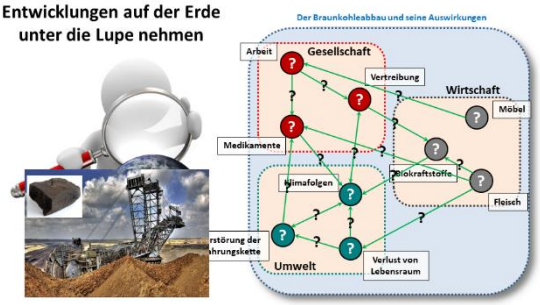


9

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Eine Entwicklung auf ihre Nachhaltigkeit hin untersuchen

Entwicklungen auf der Erde unter die Lupe nehmen



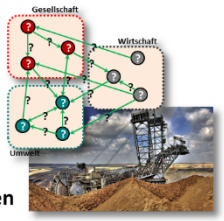
10

Der Nachhaltigkeit auf der Spur

Schritt 1:

Den Braunkohleabbau & seine Auswirkungen mithilfe von Luft-/Satellitenbildern kennenlernen

und in einer Concept Map darstellen

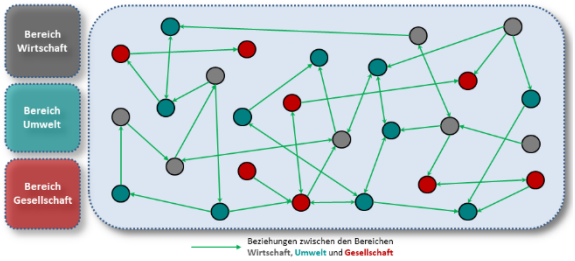


Schritt 2:

Die Nachhaltigkeit des Braunkohleabbaus gemeinsam beurteilen

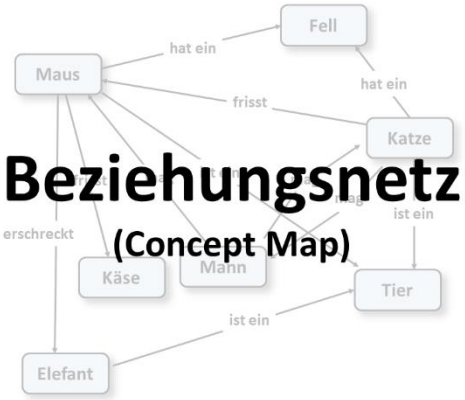
11

Wie können Sie den *Braunkohleabbau und seine Auswirkungen* verständlich darstellen?



12

Anhang 7: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Concept Mapping



1

Concept Map

a.) Begriffe:

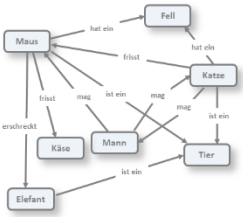
b.) Verbindungspfeile:

Einseitige Verbindung (Beziehung)

Ein Beispiel:

Zweiseitige Verbindung (Beziehung)

Ein Beispiel:



c.) Verbindungswörter an den Verbindungspfeilen
= geben den Verbindungen (Beziehungen zwischen den Begriffen) einen Sinn!!!

2

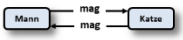
Eine Concept Map erstellen

2.) Verbindungen (Beziehungen) richtig herum erstellen:

Beispiel 1: Die Maus frisst den Käse.

➡ Die Richtung des Verbindungspfeils ist wichtig!

Beispiel 2: Mann und Katze mögen sich gegenseitig.

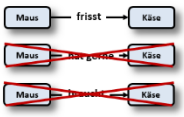


➡ Bei zweiseitigen Verbindungen (Beziehungen) sind zwei Verbindungspfeile notwendig! Die Verbindungswörter müssen nicht gleich sein!

3

Eine Concept Map erstellen

3.) Verbindungen (Beziehungen) möglichst genau erstellen:



Welches Verbindungswort beschreibt die Beziehung, die ich darstellen möchte, am besten bzw. am genauesten?

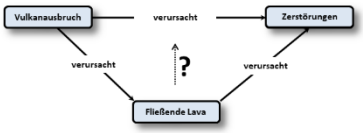
➡ Ein möglichst genaues Verbindungswort ist wichtig!

➡ Benutzen Sie Verben als Verbindungswörter!

4

Eine Concept Map erstellen

4.) Verbindungen (Beziehungen) möglichst eng erstellen:



➡ Eine Verbindung (Beziehung) zwischen zwei Begriffen sollte so eng erstellt werden, dass KEIN anderer Begriff mehr dazwischen passt!

5

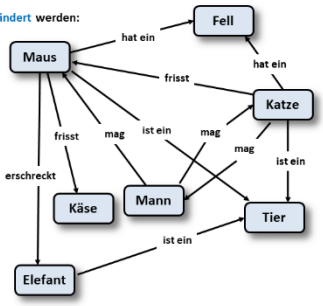
Eine Concept Map erstellen

5.) Eine Concept Map kann jederzeit verändert werden:

Begriffe
- neu erstellen
- löschen
- ändern

Verbindungspfeile
- neu erstellen
- löschen
- ändern (umdrehen)

Verbindungswörter
- neu erstellen
- löschen
- ändern

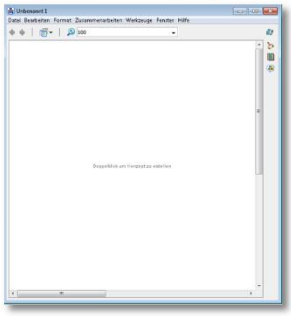


6

Übung: Concept Map erstellen

Üben Sie das Erstellen & Verändern von Begriffen, Verbindungen und Verbindungswörtern zu den sozialen Beziehungen zwischen verschiedenen Charakteren der TV-Serie "Die Simpsons"

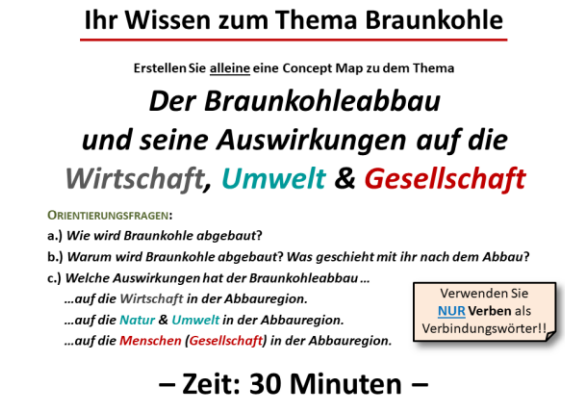
Benutzen Sie Verben als Verbindungswörter!



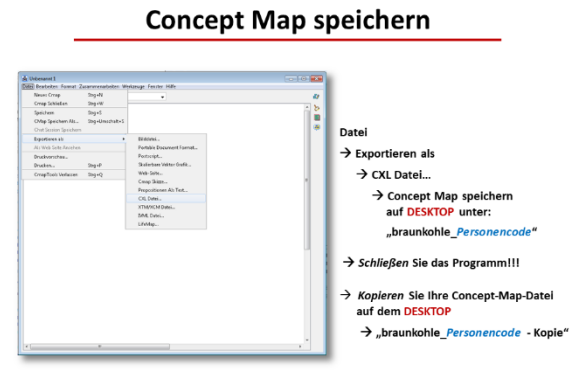
Anhang 8: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Vorwissensbasiertes Concept Mapping und Beantwortung von Fragebogen B

1

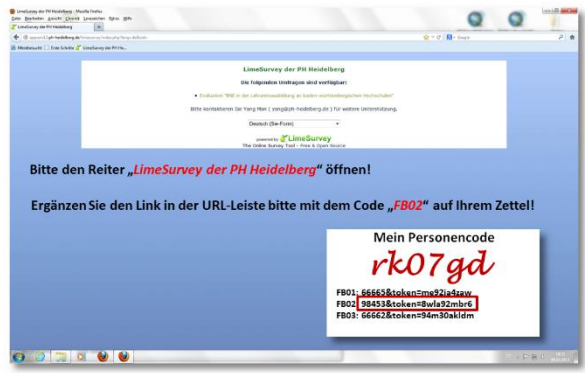
2



3



4

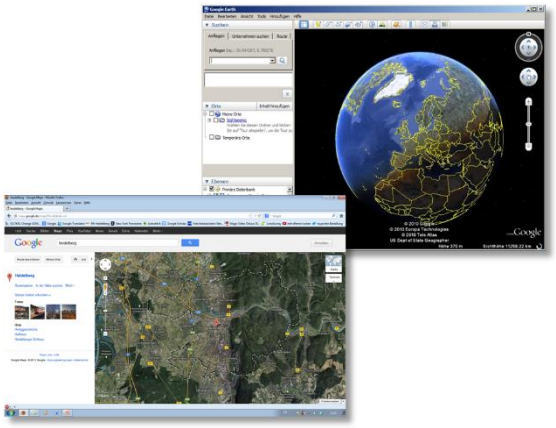


5

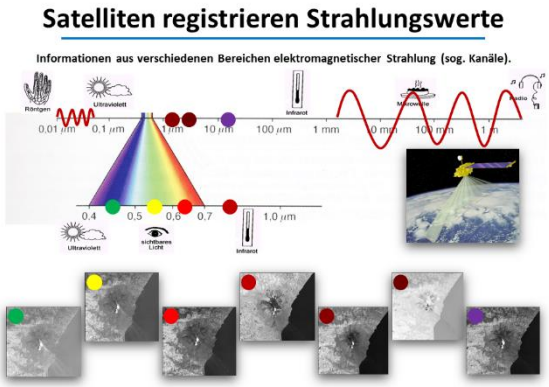
6

Anhang 9: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Methodentraining Arbeitsmedium

a.) Folien für die UG



1

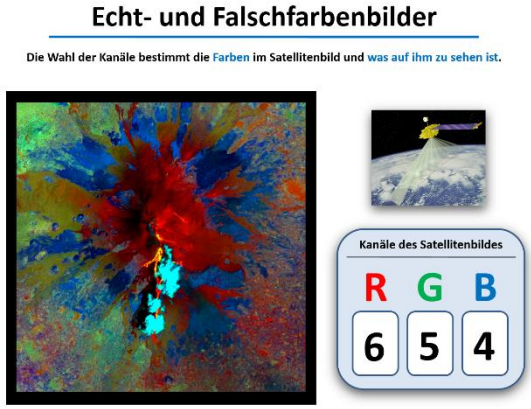


2

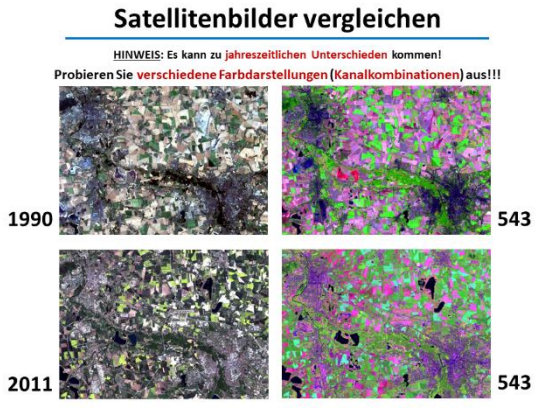
3

4

5



6



7

8

Satellitenbilder vergleichen

Konzentrieren Sie sich beim Vergleich auf ein einzelnes Landschaftselement!!!

2011

9

b.) Folien für die VG

1

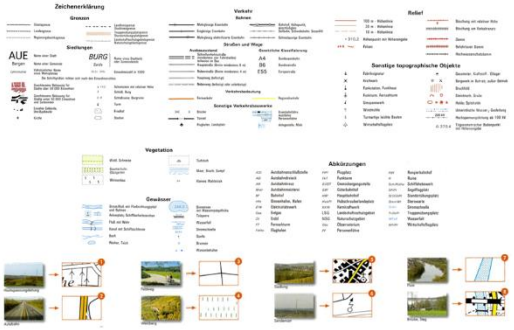
Thematische Karten

Im Schulatlas gib es für jedes Thema eine bestimmte Karte.

2

Topographische Karten

Topographische Karten enthalten Kartenzeichen (Symbole)
zu verschiedensten Dingen, die es in der Wirklichkeit in dem dargestellten Gebiet gibt.



3

Symbolische Darstellung

Topographische Karten stellen reale Dinge symbolhaft dar.

4

Faktor Maßstab

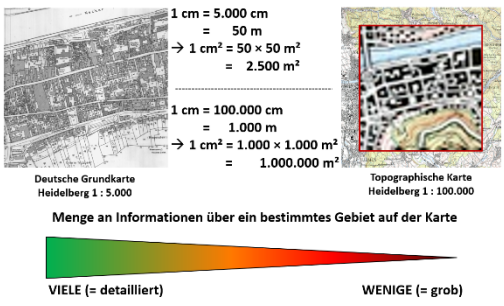
Sie haben zwei Karten der Stadt Heidelberg.
Die eine Karte hat den Maßstab **1 : 5.000**.
Die andere Karte hat einen Maßstab von **1 : 100.000**.

*Welche der beiden Karten gibt Ihnen **mehr Informationen** über die Altstadt von Heidelberg?*

5

Faktor Maßstab

Der Maßstab beeinflusst die Menge an Informationen auf einer Karte.



Menge an Informationen über ein bestimmtes Gebiet auf der Karte

6

Unterschiedliche Darstellung

WICHTIG: Die verwendeten Symbole und Farben können sich ändern!!!

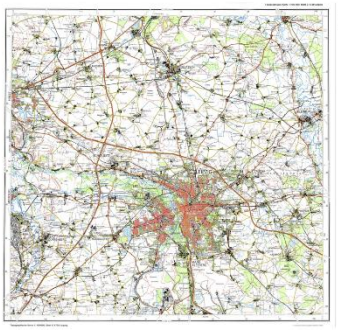
Vergleichen Sie die Legenden der beiden Karten miteinander!!!

1993 2011

7

Topographischen Karten vergleichen

Konzentrieren Sie sich beim Vergleich auf ein einzelnes Landschaftselement!!!

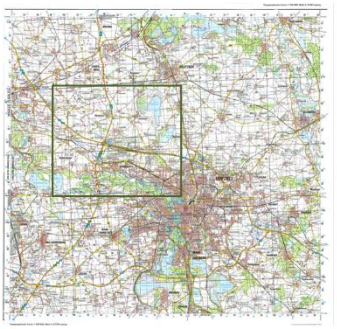


1993

8

Topographischen Karten vergleichen

Konzentrieren Sie sich beim Vergleich auf ein einzelnes Landschaftselement!!!

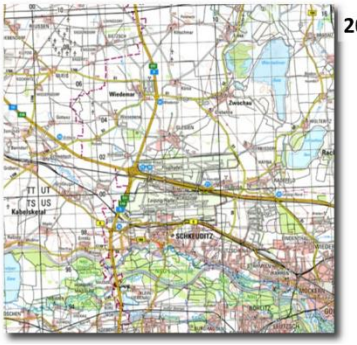


2011

9

Topographischen Karten vergleichen

Konzentrieren Sie sich beim Vergleich auf ein einzelnes Landschaftselement!!!

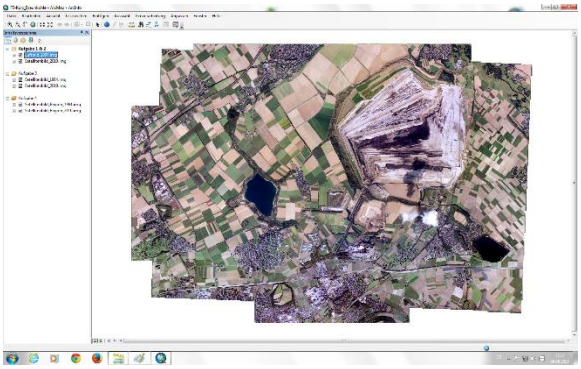


2011

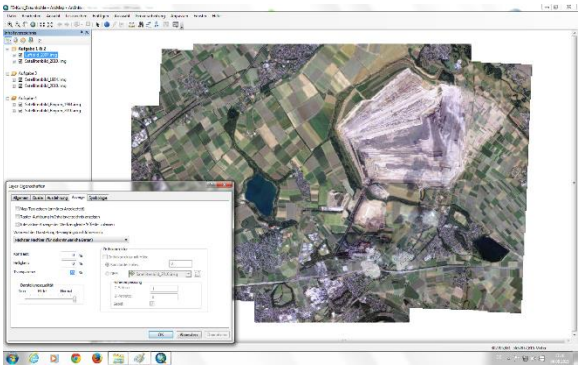
10

Anhang 10: Impressionen der visuellen Auswertung in ArcMap 10

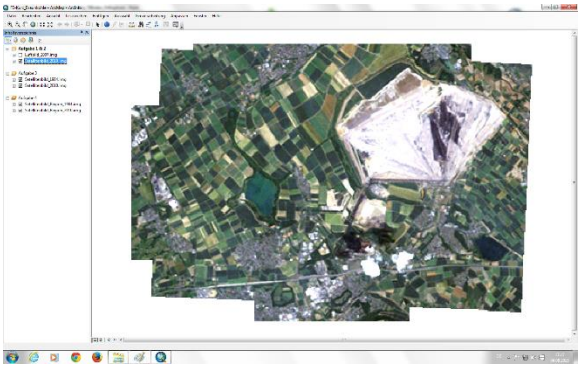
a.) Screenshots der Bildarbeit in der UG



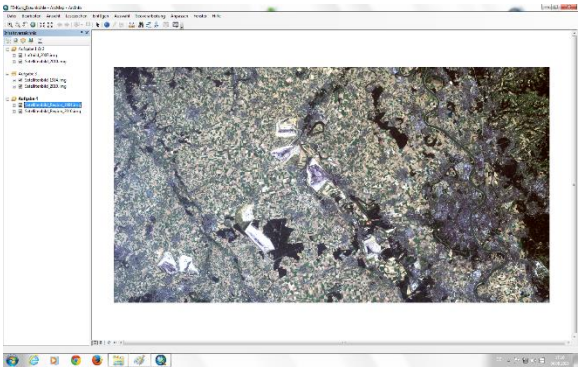
1



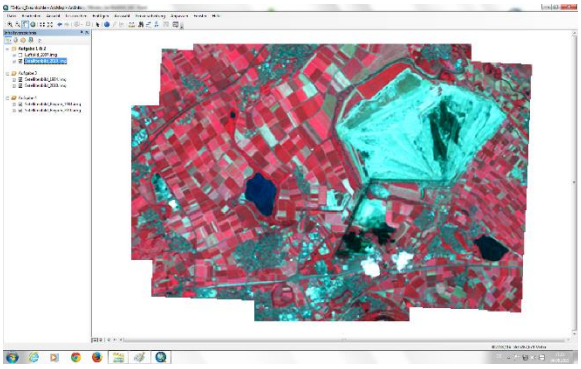
2



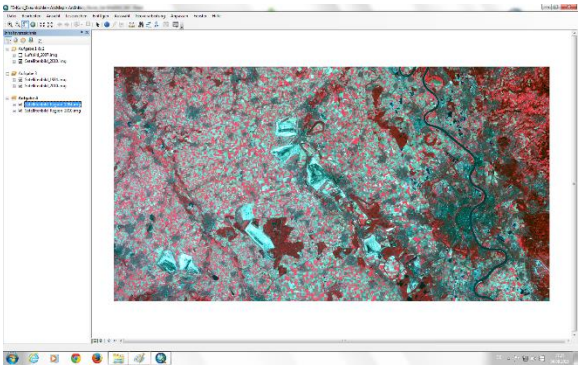
3



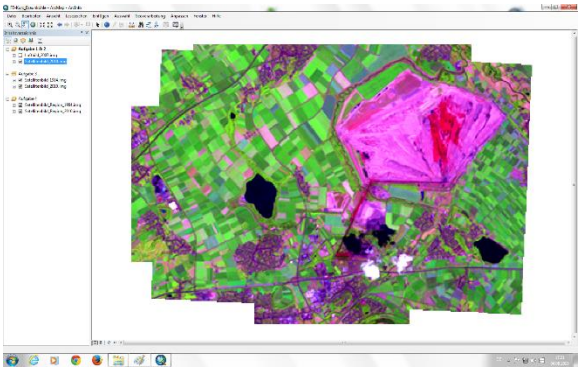
4



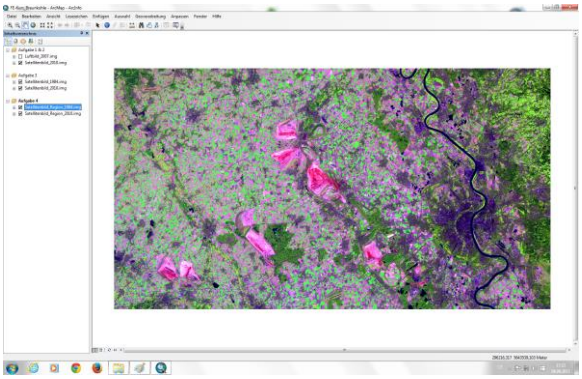
5



6

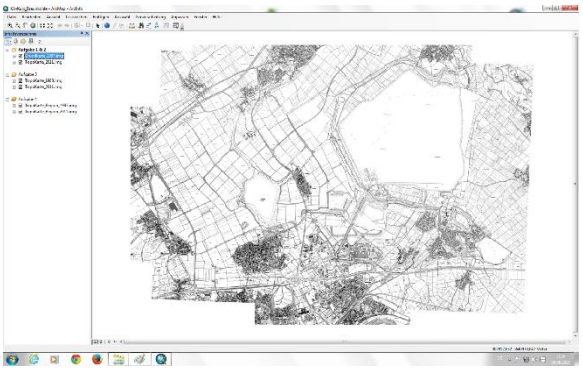


7

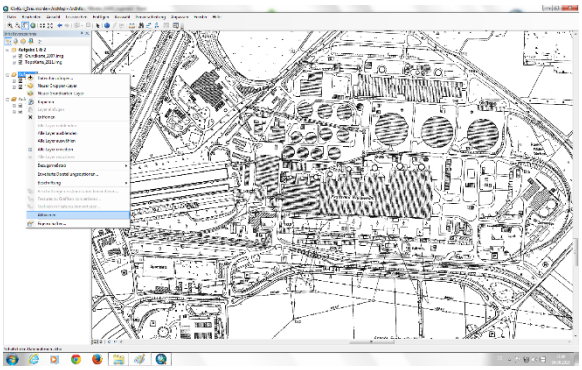


8

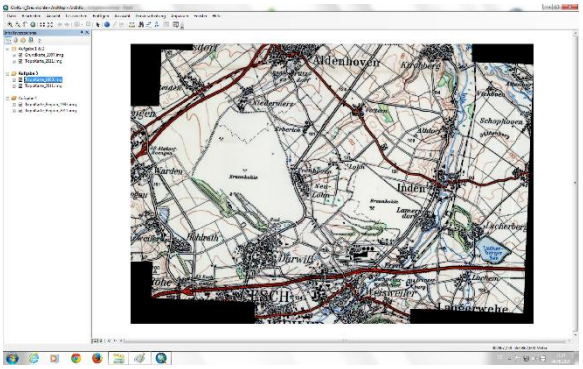
b.) Screenshots der Kartenarbeit in der VG



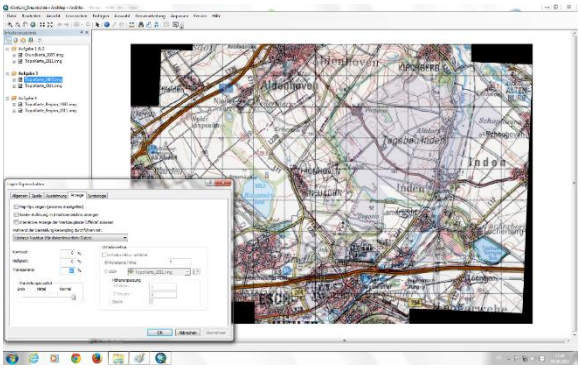
1



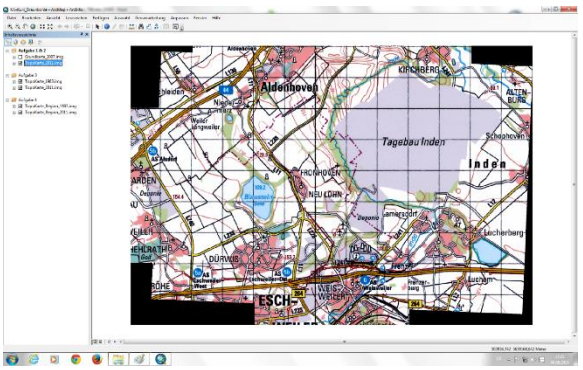
2



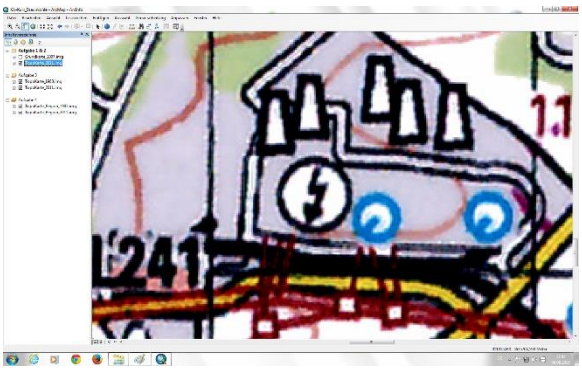
3



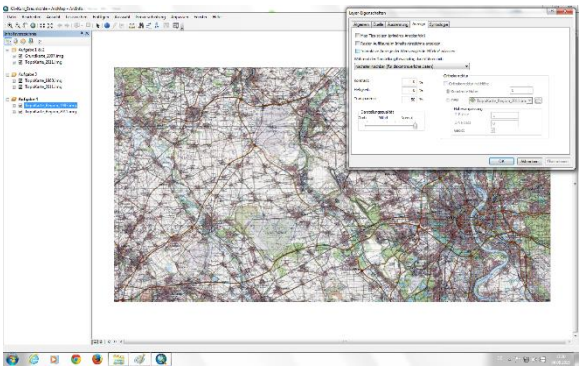
4



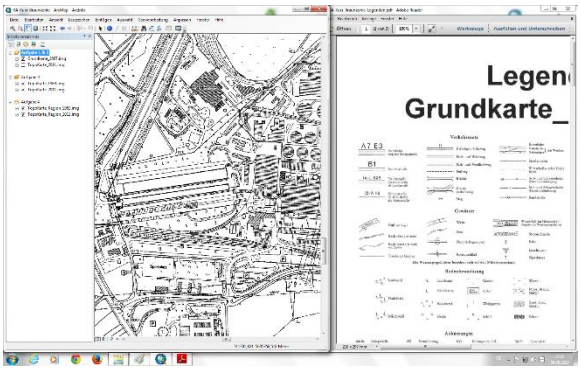
5



6



7



8

Anhang 11: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Auswertung des Arbeitsmediums, CM_{vorw}-Modifikation und Beantwortung von Fragebogen C

a.) Folien für die UG

Kursthema

1

Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

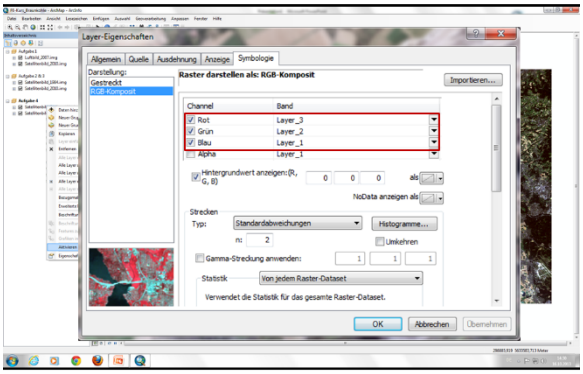
Gehen Sie alleine auf eine Reise zu den größten Baggern der Welt und entdecken Sie dabei

die Auswirkungen des Braunkohlenabbaus auf die Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

BEARBEITEN SIE DIE AUFGABEN 1 BIS 4

– Zeit: 75 Minuten –

2



3

Arbeitsblätter für die Bildarbeit

Tragen Sie Ihren Personencode ein!

GIS·Station

Hier bitte Ihren Personencode angeben

rk,0,7,gd

Der Braunkohleabbau

und die Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft

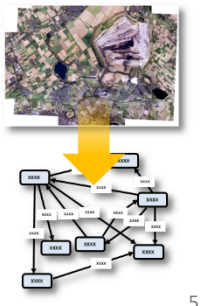
4

Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

UNTERTEILUNG DER AUFGABEN

SCHWARZE ARBEITSAUFTRÄGE:
Arbeit mit dem Luftbild und den Satellitenbildern.

ROTE ARBEITSAUFTRÄGE:
Überarbeiten Ihrer eigenen Concept Map.



5

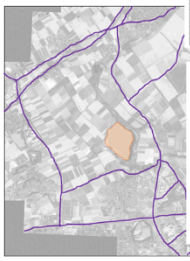
Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

Aufgabe 1: DAS ABBAUGEBIET FÜR BRAUNKOHLE KENNENLERNEN

ARBEITSA

Symbol	Landschaftselement	Symbol	Landschaftselement
	Braunkohletagebau		

a.) ***Benennen*** Sie mithilfe der Bilder *Luftbild_2007* zeichneten Landschaftselemente (siehe Anleitu Lage von *mindestens* 7 weiteren Elementen *ein*



WIE ERKENNE ICH WAS AUF DEN BILDERN DARGESTELLT IST?

1.) Das Bild sinnvoll nach **Farben, Formen** (Punkte, Linien, Flächen), **Strukturen** *unterteilen.*
2.) **Entfernungen, Größen** oder **Flächen** *abschätzen.*
3.) **Erkennen – Eigenes Wissen** über das **Aussehen** von Landschaftselementen
- *Was sieht so aus, wenn man es sich von oben (d.h. aus großer Höhe) ansieht?*
- *Kommen Elemente mehrmals vor, z.B. in Gruppen? Gehören Sie zusammen?*
- *Können Kleinere Elemente zu größeren Strukturen zusammengefasst werden?*

b.) ***Unterstreichen*** Sie in der Legende *die* Elemente, die etwas mit dem Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen zu tun haben.

c.) ***Übernehmen*** Sie die unterstrichenen Elemente als Begriffe in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie mit den Begriffen und Verbindungen dort.

Luftbild_2007

6

Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

Aufgabe 2: BEZIEHUNGEN

ARBEITS

Das *Luftbild_2007* und *Satellitenbild_2010* zeige Beziehungen und Zusammenhänge, die es zwisc

EIN BEISPIEL: Auf dem Luftbild ist eine dunkle Linie bei **A** und **B** zu sehen (roter Kasten rechts).

Was ist bei A dargestellt und was bei B? Was ist Was hat sie mit dem Thema Braunkohleabbau z

a.) ***Erstellen*** Sie in der Tabelle unten eine Verbin Map (oder wenn nötig mehrere), die beschrei einander zu tun haben. ***Verwenden*** Sie Verbe

b.) ***Erstellen*** Sie *mindestens* **4** weitere Verbindun Thema, die Sie auf den Bildern sehen. Sie kön

Ausgangsbegriff	Verbindungswort	Endbegriff

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufga dort entsprechend.

Beim Abbau von Braunkohle in einem offenen Tagebau wird durch Wind häufig *Staub* aufgewirbelt. Der *Staub* ist nicht selber auf den Bildern zu sehen, anhand des offenen Tagebaus kann man aber auf das Phänomen der Staubaufwirbelung schließen.

d.) ***Finden*** Sie *mindestens* **4** weitere Dinge zum Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen, die es zwar in dem Abbaugebiet gibt, die aber *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind.

Staub	

e.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*) zum Thema Braunkohleabbau für alle Begriffe aus Aufgabe 2d. Jede Beziehung sollte dabei *mindestens* einen Begriff enthalten; Sie können diesen Begriff z.B. mit einem Landschaftselement aus Aufgabe 1b oder 2b verbinden (oder neue Begriffe wählen). ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Ausgangsbegriff	Verbindungswort	Endbegriff

f.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2e in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

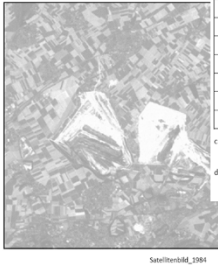
7

Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

Aufgabe 3: DIE ENTWICKLUNG DES ABBAUS UNE

ARBEITSAUFTRÄG

a.) ***Vergleichen*** Sie das *Satellitenbild_1984* mit dem *Satelli* ***Zeichnen*** Sie *mindestens* **8** Stellen ***ein***, an denen unters 1984 und 2010 aufgetreten sind, und ***nummerieren*** Sie



Satellitenbild_1984

b.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*), die die Veränderungen an den eingezeichneten Stellen beschreiben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Nr.	Ausgangsbegriff	Verbindungswort	Endbegriff
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 3b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Veränderungen und Auswirkungen des Braunkohleabbaus, die es zwar in dem Abbaugebiet gegeben hat, die aber *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind.

- **Änderungen** bei der **Form** oder **Größe** von Elementen
- **Hinzukommen** neuer Elemente bzw. **Verschwinden** alter Elemente
- **Farbänderungen** (ACHTUNG: jahreszeitliche Änderungen bei landwirtschaftlichen Flächen)

8

Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern

Aufgabe 4: Die gesamte Abbauregion kennenlernen

a.) ***Zeichnen*** Sie die Lage d

b.) ***Fassen*** Sie die Entwicklung und wichtigsten Auswirkungen des Braunkohleabbaus zwischen 1984 und 2010 in den 6 Gebieten stichwortartig ***zusammen***.

Gebiet	Entwicklung und Auswirkungen zwischen 1984 und 2010
1	
2	
3	
4	
5	
6	

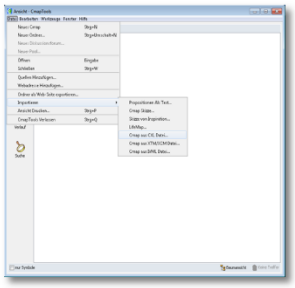
c.) ***Übernehmen*** Sie *nur die* Entwicklungen und Auswirkungen aus Aufgabe 4b in Ihre Concept Map, die Sie dort noch nicht haben, und ***verknüpfen*** Sie sie entsprechend.

d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map um Entwicklungen und Auswirkungen des Braunkohleabbaus, die es zwar in der Region gegeben hat, die aber *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind.

Satellitenbild_1984

9

Concept Map wieder öffnen



Programm *Cmap Tools* öffnen

→ Datei

→ Importieren

→ Cmap aus CXL Datei...

→ Vom DESKTOP kopierte Datei „braunkohle_*Personencode* - Kopie.cxl“ auswählen

Sie können Ihre erste Concept Map nun überarbeiten!

10

Orientierungsfragen für die Bildarbeit

Welche **Landschaftselemente** sehen Sie, die etwas **mit dem Thema zu tun** haben?

Welche **Beziehungen** & **Zusammenhänge** gibt es zwischen den **Landschaftselementen**?

Welche **Hinweise auf Dinge** sehen Sie, die etwas **mit dem Thema zu tun** haben?
Welche **Beziehungen** & **Zusammenhänge** gibt es zwischen ihnen?

Welche **Veränderungen** haben in dem kleinen Abbaugebiet stattgefunden?
Welche davon haben etwas **mit dem Thema zu tun** (= **Auswirkungen**)?

Welche **Veränderungen** haben in der großen Abbauregion stattgefunden?
Welche davon haben etwas **mit dem Thema zu tun** (= **Auswirkungen**)?

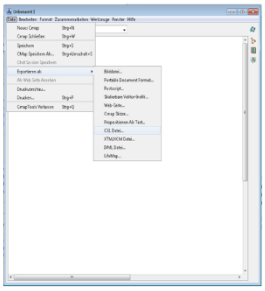
Verwenden Sie NUR **Verben** als Verbindungswörter!!

Anpassung Ihrer Concept Map

– Zeit: 75 Minuten –

11

Concept Map speichern



Datei

→ **Exportieren als**

→ **CXL Datei...**

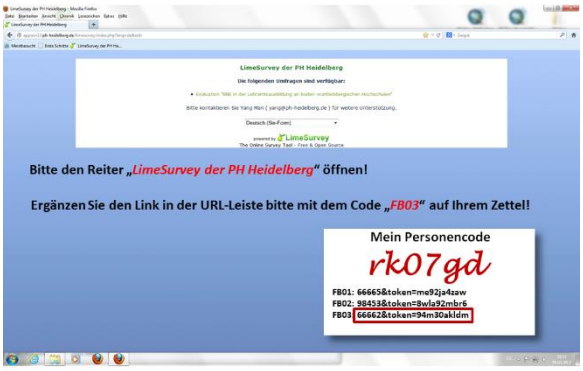
→ **Concept Map speichern auf DESKTOP unter:**

„braunkohle_*Personencode* - Kopie.cxl“

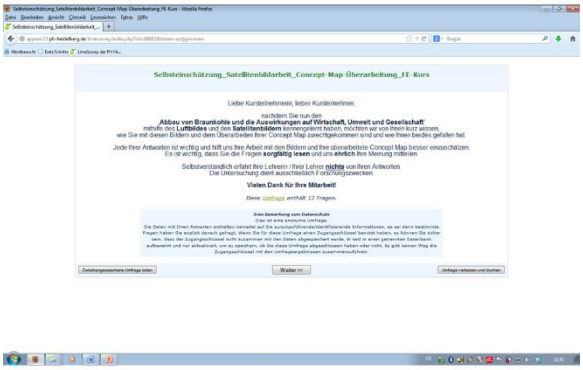
= Datei überspeichern!!

Das Programm SCHLIEßEN!!!

12



13



14

b.) Folien für die VG

Kursthema

1

Arbeit mit den Karten

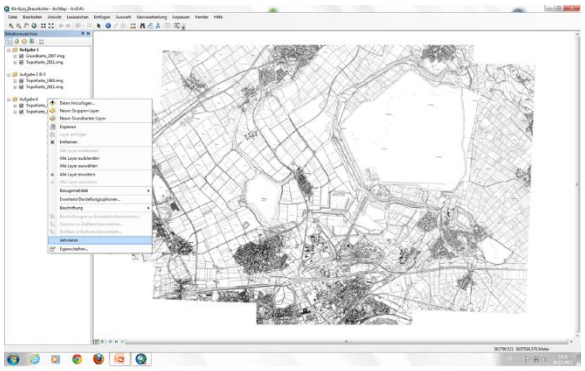
Gehen Sie alleine auf eine Reise zu den größten Baggern der Welt und entdecken Sie dabei

die Auswirkungen des Braunkohlenabbaus auf die Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft.

BEARBEITEN SIE DIE AUFGABEN 1 BIS 4

– Zeit: 75 Minuten –

2



3

Arbeitsblätter für Kartenarbeit

Tragen Sie Ihren Personencode ein!

GIS-Station

Hier bitte Ihren Personencode angeben

r k 0 7 g d

Der Braunkohleabbau

und die Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft

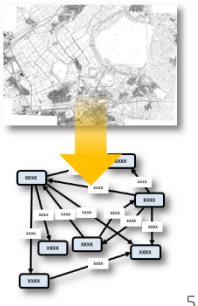
4

Arbeit mit den Karten

UNTERTEILUNG DER AUFGABEN

SCHWARZE ARBEITSAUFTRÄGE:
Arbeit mit den Karten.

ROTE ARBEITSAUFTRÄGE:
Überarbeiten Ihrer eigenen Concept Map.



5

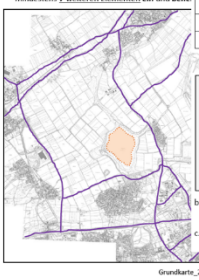
Arbeit mit den Karten

Aufgabe 1: DAS ABBAUGEBIET FÜR BRAUNKOHLE KENNENLERNEN

ARBEITSAU

a.) ***Benennen*** Sie mithilfe der *Grundkarte_2007* un Landschaftselemente (siehe Anleitung zum Kart *mindestens* **7 weiteren Elementen** ***ein*** und ***bene***

Symbol	Landschaftselement	Symbol	Landschaftselement
	Braunkohletagebau		



WIE ERKENNE ICH WAS AUF DEN KARTEN DARGESTELLT IST?

1.) Die in der **Kartenlegende** dargestellten **Symbole** und **Beschriftungen/Abkürzungen** *erfassen* und auf den Karten *verorten* (*finden*).
2.) **Entfernungen**, **Größenverhältnisse** oder **Flächen** mithilfe des **Kartenmaßstabs** *bestimmen*.
3.) **Erkennen = Eigenes Wissen** über die als **Symbole** dargestellten Landschaftselemente
- *Welche Landschaftselemente sind auf den Karten zu sehen?*
- *Kommen Elemente mehrmals vor, z.B. in Gruppen? Gehören sie zusammen?*
- *Können kleinere Elemente zu größeren Strukturen zusammengefasst werden?*

b.) ***Unterstreichen*** Sie in der Legende *die* Elemente, die etwas mit dem Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen zu tun haben.

c.) ***Übernehmen*** Sie die unterstrichenen Elemente als Begriffe in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie mit den Begriffen und Verbindungen dort.

Grundkarte_2007

6

Arbeit mit den Karten

Aufgabe 2: BEZIEHUN

ARB

Beim Abbau von Braunkohle in einem offenen Tagebau wird durch Wind häufig *Staub* aufgewirbelt. Der *Staub* ist nicht selber auf den Karten zu sehen, anhand des offenen Tagebaus kann man aber auf das Phänomen der Staubaufwirbelung schließen.

Die *Grundkarte_2007* und *TopoKarte_2011* Beziehungen und Zusammenhänge, die es

EIN BEISPIEL: Auf der Grundkarte ist eine dun bei **A** und **B** zu sehen (roter Kasten rechts).

Was ist bei A dargestellt und was bei B? W hat sie mit dem Thema Braunkohleabbau z

a.) ***Erstellen*** Sie in der Tabelle unten eine Ve Map (oder wenn nötig mehrere), die bes einander zu tun haben. ***Verwenden*** Sie V

b.) ***Erstellen*** Sie *mindestens* **4 weitere** Verbi Thema, die Sie auf den Karten sehen. Sie

Ausgangsbegriff	Ve

d.) ***Finden*** Sie *mindestens* **4 weitere Dinge** zum Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen, die es zwar in dem Abbaugebiet gibt, die aber *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind.

Staub	

e.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*) zum Thema Braunkohleabbau für alle Begriffe aus Aufgabe 2d. Jede Beziehung sollte dabei *mindestens* einen Begriff enthalten; Sie können diesen Begriff z.B. mit einem Landschaftselement aus Aufgabe 1b oder 2b verbinden (oder neue Begriffe wählen). ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus dort entsprechend.

f.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2e in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

7

Arbeit mit den Karten

Aufgabe 3: DIE ENTWICKLUNG DES AB

ARBEITSA

a.) ***Vergleichen*** Sie die *TopoKarte_1983* mit der *T* Sie *mindestens* **8 Stellen** ***ein***, an denen unters 2011 aufgetreten sind, und ***nummerieren*** Sie

b.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*), die die Veränderungen an den eingezeichneten Stellen beschreiben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Nr.	Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 3b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Veränderungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind, die es aber in dem Abbaugebiet gegeben hat.

- **Änderungen** bei der **Form** oder **Größe** von Symbolen (Elementen)
- **Hinzukommen** neuer Symbole (Elemente) bzw. **Verschwinden** alter Symbole (Elemente)
- **Wechsel des Symbols** (wenn zum Beispiel aus einer Landstraße eine Bundesstraße wurde)

TopoKarte_1983

8

Arbeit mit den Karten

Aufgabe 4: Die gesamte Abbauregion kennenlernen

a.) ***Zeichnen*** Sie die Lage der T

b.) ***Fassen*** Sie die Entwicklung und wichtigsten Auswirkungen des Braunkohleabbaus zwischen 1983 und 2011 in den 6 Gebieten stichwortartig ***zusammen***.

Gebiet	Entwicklung und Auswirkungen zwischen 1983 und 2011
1	
2	
3	
4	
5	
6	

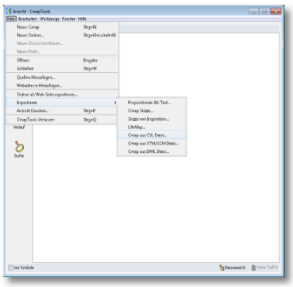
c.) ***Übernehmen*** Sie *nur die* Entwicklungen und Auswirkungen aus Aufgabe 4b in Ihre Concept Map, die Sie dort noch nicht haben, und ***verknüpfen*** Sie sie entsprechend.

d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Entwicklungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind, die es aber in der Region gegeben hat.

TopoKarte_Region_1983

9

Concept Map wieder öffnen



Programm *Cmap Tools* öffnen

→ Datei

→ Importieren

→ Cmap aus CXL Datei...

→ Vom DESKTOP kopierte Datei „braunkohle_*Personencode* - Kopie.cxl“ auswählen

Sie können Ihre erste Concept Map nun überarbeiten!

10

Orientierungsfragen für die Kartenarbeit

Welche **Landschaftselemente** sehen Sie, die etwas **mit dem Thema zu tun** haben?

Welche **Beziehungen** & **Zusammenhänge** gibt es zwischen den **Landschaftselementen**?

Welche **Hinweise auf Dinge** sehen Sie, die etwas **mit dem Thema zu tun** haben?
Welche **Beziehungen** & **Zusammenhänge** gibt es zwischen ihnen?

Welche **Veränderungen** haben in dem kleinen Abbaugebiet stattgefunden?
Welche davon haben etwas **mit dem Thema zu tun** (= **Auswirkungen**)?

Welche **Veränderungen** haben in der großen Abbauregion stattgefunden?
Welche davon haben etwas **mit dem Thema zu tun** (= **Auswirkungen**)?

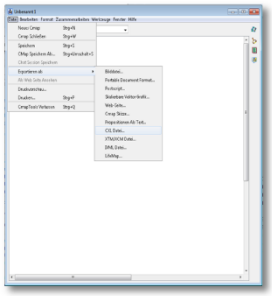
Verwenden Sie **NUR Verben** als Verbindungswörter!!

Anpassung Ihrer Concept Map

– Zeit: 75 Minuten –

11

Concept Map speichern



Datei

→ **Exportieren als**

→ **CXL Datei...**

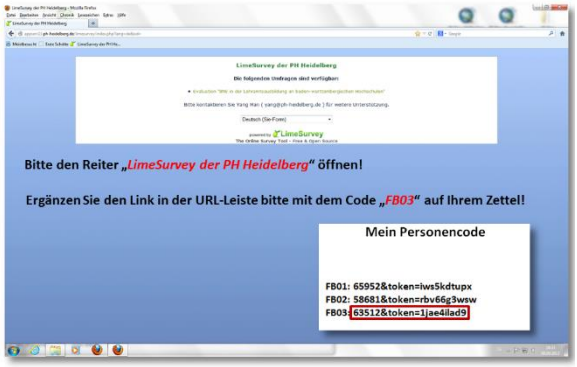
→ **Concept Map speichern auf DESKTOP unter:**

„braunkohle_*Personencode* - Kopie.cxl“

= Datei überspeichern!!

Das Programm SCHLIEßEN!!!

12



13

14

Anhang 12: Präsentationsmaterialien Interventionseinheit: Abschlussdiskussion

Im Folgenden dargestellt sind nur die Folien für die UG. Die Folien für die VG sind identisch, wobei bei Folie 2 »Luft-/Satellitenbilder« durch »Topographische Karten« ersetzt und anstelle des Luftbildes die Grundkarte abgebildet ist.

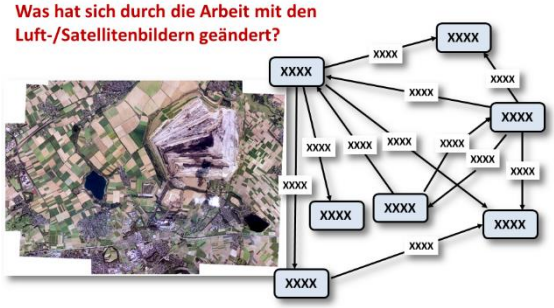
Aufgabenbesprechung & Diskussion

1

Vorstellung Concept Maps

Wie sah Ihre erste Conept Map aus?

Was hat sich durch die Arbeit mit den Luft-/Satellitenbildern geändert?



2

Ziel von Bildarbeit & Concept Mapping

Beurteilung des Braunkohleabbaus

Was sind die Auswirkungen im Bereich Wirtschaft?
Sind sie gut oder schlecht? Kann es so weitergehen?

Was sind die Auswirkungen im Bereich Umwelt?
Sind sie gut oder schlecht? Kann es so weitergehen?

Was sind die Auswirkungen im Bereich Gesellschaft?
Sind sie gut oder schlecht? Kann es so weitergehen?

Beantwortung der Leitfrage

3

Beantwortung der Leitfrage

Ist der Abbau von Braunkohle nachhaltig?

Soll er so weitergehen wie er jetzt ist:
JA oder NEIN?

Nennen Sie GRÜNDE, die aus Ihrer Sicht DAFÜR bzw. DAGEGEN sprechen.

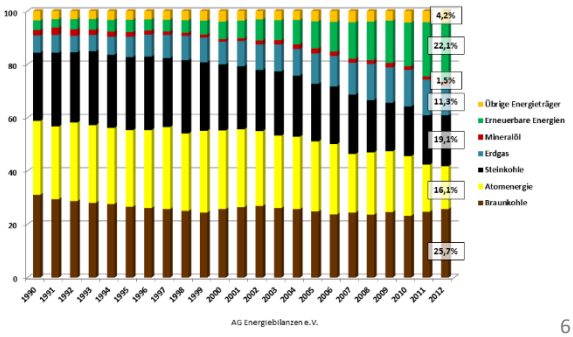
4

Energierohstoff Braunkohle

Wie viel Prozent der Energie in Deutschland erzeugen wir mit Braunkohle?

5

Stromerzeugung in Deutschland



6

Bis zum Jahr 2022 schaltet Deutschland seine Atomkraftwerke ab!

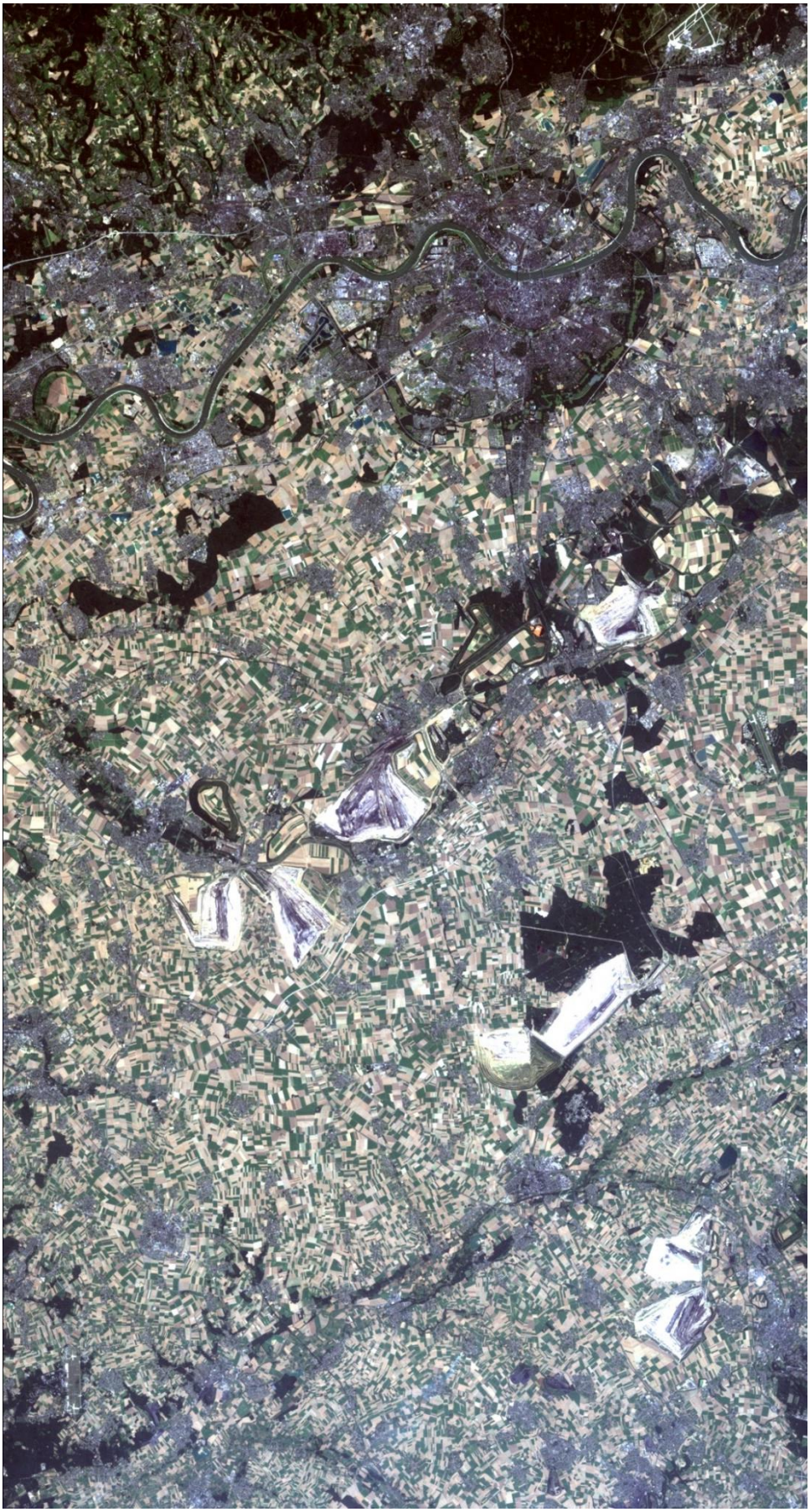
7

Stromerzeugung in Deutschland

8

Anhang 13: Ausschnitt des Tagebaus Inden aus dem Luftbild im Maßstab 1 : 5.000 (Jahr 2007)

Anhang 14: Satellitenbild (Echtfarbenbild) des Rheinischen Braunkohlereviers (Jahr 1984)



Anhang 15: Satellitenbild (Echtfarbenbild) des Rheinischen Braunkohlereviers (Jahr 2010)

Anhang 16: Ausschnitt des Tagebaus Inden aus der DGK 5 samt Legende (Jahr 2007)

Signaturenbeispiele

Verkehrsnetz

A7 E3 — Autobahn (zugleich Europastraße)

B1 — Bundesstraße

IA-L 695 — Hauptstraße (über 6 m breit) als Landesstraße

IB-K 49 — Nebenstraße (4–6 m breit) als Kreisstraße

Befestigter Fahrweg

Feld- und Waldweg

Park- und Friedhofsweg

Fußweg

Brücke

Brücke (mehrstöckig)

Steg

Eisenbahn (Hauptgleise / Nebengleise) mit Weichen

Straßenbahn

Wirtschafts- oder Förderbahn

Seil- und Schwebebahn (Personenbeförderung)

Seil- und Schwebebahn (Materialbeförderung)

Bandstraße

Gewässer

Fluß mit Pegel

Bach (über 2 m breit)

Bach (unter 2 m breit) mit Quelle

Trockener Graben

Wehr

Stau

Durchlaß (gemauert)

Rohrdurchlaß

Wasserfall mit Höhenzahlen (Angabe der Wasserspiegelhöhe)

Stromschnelle

Bake

Leuchtturm

Signalmast

Die Wasserspiegelhöhen beziehen sich auf den Mittelwasserstand.

Bodenbewachsung

Laubwald

Nadelwald

Mischwald

Laubbaum

Nadelbaum

Buschwerk

Heide

Garten

Acker (ohne Signatur)

Weingarten

Schilf

Wiese

Moor, Bruch, Sumpf

Sand, Kies, Geröll

Felsen

Gebäude

Wohngebäude (mit Hausnummer)

Hochhaus (mit Arkade)

Wirtschafts- und Industriegebäude

Gewächshaus

Öffentliches Gebäude

Kirche

Topographische Zeichen

Böschung (5 m hoch)

Hecke

Zaun

Stützmauer (3 m hoch)

Freistehende Mauer

Wall mit Bewachsung (Knick)

Wall ohne Bewachsung

Hochspannungsleitung mit Mast (10 kV)

Oberirdische Versorgungsleitung

Treppe

Steinbruch

Bergwerk in und außer Betrieb

Kreuz

Funk-, Sendemast, Umsetzer

Windmühle

Hervorragender Baum

Trig. Bodenpunkt

Trig. Hochpunkt

Tankstelle

Bruchfeld

Schacht

Bildstock

Umformer

Anflugbefeuerung

Wegweiser

Niv.-Pfeiler

Niv.-Bolzen

Parkplatz

Friedhof

Stollenmundloch

Denkmal

Schornstein

Hubschrauberlandeplatz

Kilometerangabe

Meilenstein

Turm

Kran

Campingplatz

Grenzen

Staatsgrenze

Landesgrenze

Regierungsbezirksgrenze

Kreisgrenze

Gemeindegrenze

Stadtbezirksgrenze

Eigentumsgrenze

Nutzungsgrenze

Naturschutzgebietsgrenze

Truppenübungsplatzgrenze

Höhenlinien und Höhenpunkte

Bei der Luftbildauswertung nicht sicher erkannte und durch einen Feldvergleich nicht überprüfte Höhenlinien.

· 81,9 Höhenangabe für Kartenpunkt (durch die Grundrißsituation lagemäßig definierter Punkt)

· 141,6 Höhenangabe für markanten Geländepunkt (Kuppen-, Mulden-, Sattelpunkt)

Die Höhen sind über Normal-Null angegeben.

Ortsnamen

Zülpich — Stadt — *Striepen* — Gemeindeteil, Wohnplatz

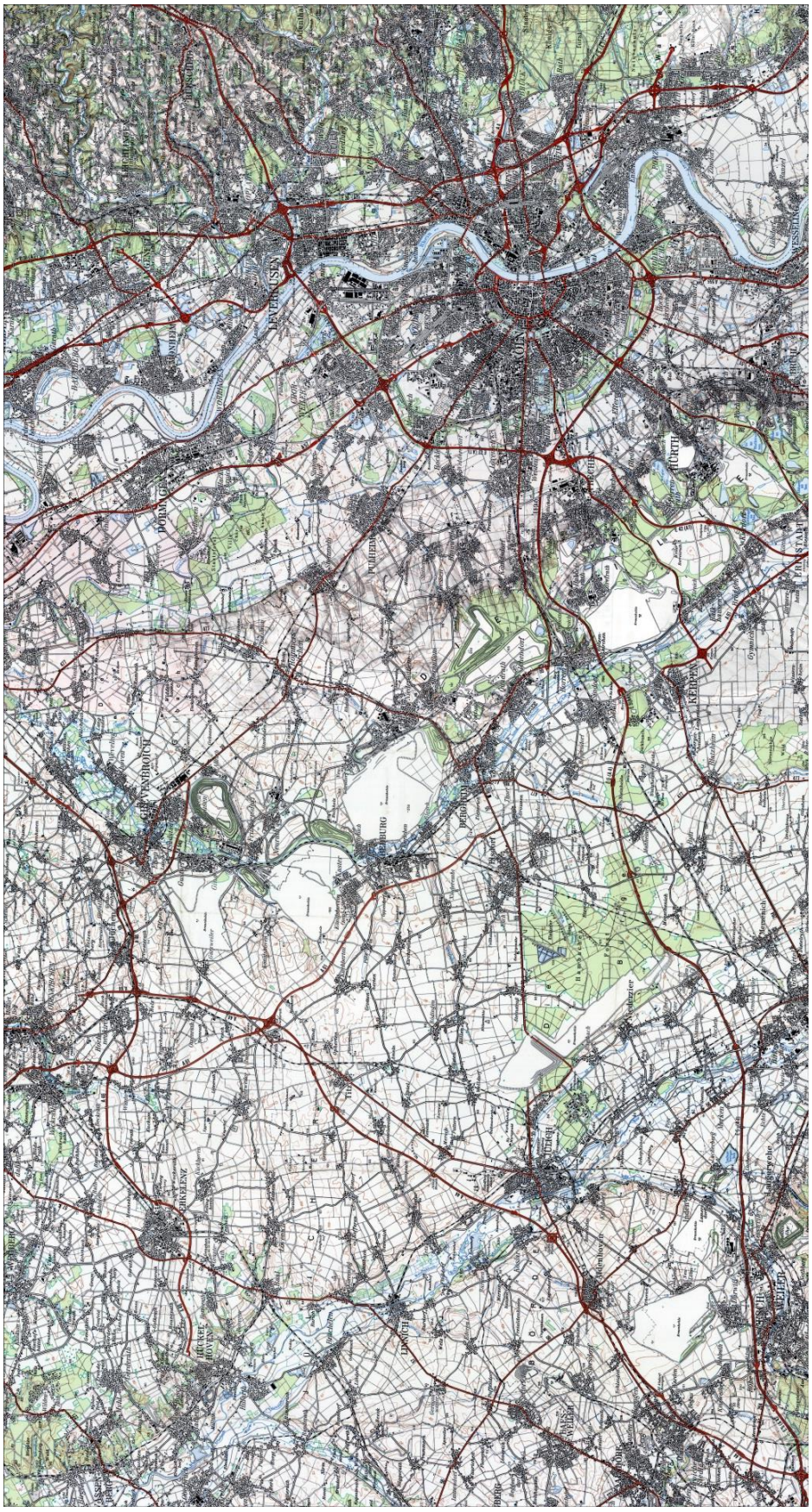
Selhausen — Gemeinde — *Kradenpuhl* — Volkstümlicher Wohnplatzname

Die Schriftgrößen sind von den Einwohnerzahlen abhängig.

Abkürzungen

Anl.St.	Anlegestelle	*FÖ*	Fernölleitung	*K.D.*	Kulturgeschichtl. Denkmal	Sp.Pl.	Sportplatz
AS	Anschlußstelle	*F.St.*	Funkstelle			Spr.Br.	Springbrunnen
A.T.	Aussichtsturm	*F.T.*	Funkturm	*Kp.*	Kapelle	*S.Wk.*	Sägewerk
Bf.	Bahnhof	*FW*	Fernwasserleitung	*Krkha.*	Krankenhaus	*T.*	Teich
Br.	Brunnen	*Gbf.*	Güterbahnhof	Lgpl.	Lagerplatz	*T.*	Turm
Jg.Hb.	Jugendherberge	*Gde.*	Gemeinde	*M.*	Mühle	Tr.Üb.Pl.	Truppenübungsplatz
Ehr.Fdhf.	Ehrenfriedhof	*H.*	Hütte	*Mist.*	Meilenstein	*U.Wk.*	Umspannwerk
E.Wk.	Elektrizitätswerk	*Hbf.*	Hauptbahnhof	*Mus.*	Museum	Wsb.	Wasserbehälter
Erbbgr.	Erbbegräbnis	Hfn.	Hafen	*N.D.*	Naturdenkmal	*W.F.*	Wagenfähre
Fbr.	Fabrik	*Hp.*	Haltepunkt	N.S.G.	Naturschutzgebiet	Wf.	Wasserfall
FG	Ferngasleitung	H.Qu.	Heilquelle	*P.F.*	Personenfähre	W.T.	Wasserturm
FH	Fernheizleitung	HSt.	Höchststau	*P.Wk.*	Pumpwerk	Wtrtrtb.	Wassertretbecken
Fährhfn.	Fährhafen	*Hst.*	Haltestelle (Straßenbahn)	*R.*	Ruine	W.Wk.	Wasserwerk
F.M.T.	Fernmeldeturm			*Reg.Bez.*	Regierungsbezirk	*Zgl.*	Ziegelei

Anhang 17: Ausschnitt des Rheinischen Braunkohlereviers aus der TK 100 samt Legende (Jahr 1983)



Ortsnamen

RHEINBACH — Stadt
Lindenberg — Gemeinde
ROSENTHAL — Stadt-
Neuenkirchen — oder
Erdmannsdorf — Gemeindeteil

Die Schriftgrößen sind von den Einwohnerzahlen abhängig.

Topographische Einzelzeichen

- Kirche mit 2 Türmen
- Kirche mit Turm
- Kapelle
- Kreuz, Bildstock
- Friedhof
- Denkmal
- Turm
- Zeltplatz
- Höhle
- Grabhügel
- Landwehr, Schanze
- Schloß u. Burg
- Schloß- u. Burgruine
- Sprungschanze
- Kläranlage
- Wasserbehälter
- Bergwerk, in u. außer Betrieb
- Steinbruch; Grube
- Schornstein
- Funktechnische Anlage
- 78 Trigonometrischer Bodenpunkt
- Trigonometrischer Hochpunkt
- 25 Höhenpunkt
- Wagenfähre
- Damm, Deich, befahrbar
- Damm, Deich, nicht befahrbar
- Knick, kl. Wall mit Hecke
- Knick, kl. Wall ohne Hecke
- Hochspannungsleitung
- Sportplatz

Bodenbewachsung

- Wald mit Schneise
- Park
- Weinbau
- Regelmäßige Baumanpflanzung
- Hopfen
- Heide
- Moor, Bruch, Sumpf mit Torfstich

Abkürzungen

AT	Aussichtsturm	H	Hütte
AD	Autobahn-Dreieck	... kp, Kp	Kapelle
AK	Autobahn-Kreuz	Kläranl	Kläranlage
AS	Autobahn-Anschlußstelle	KD	Kulturdenkmal
...b, B	Bach	... m, M	Mühle
Bf	Bahnhof	NSG	Naturschutzgebiet
...b, B	Berg	...qu, Qu	Quelle
...br, Br	Brunnen	Rst	Raststätte
Hp	Haltepunkt	R	Ruine
Hbf	Hauptbahnhof	Schl	Schloß
Hs	Haus	...s, S	See

Grenzen

- Staatsgrenze
- Landesgrenze
- Regierungsbezirksgrenze
- Grenze einer kreisfreien Stadt oder eines Kreises
- Truppen- und Standortübungsplatzgrenze
- Naturschutzgebietsgrenze

Verkehrsnetz

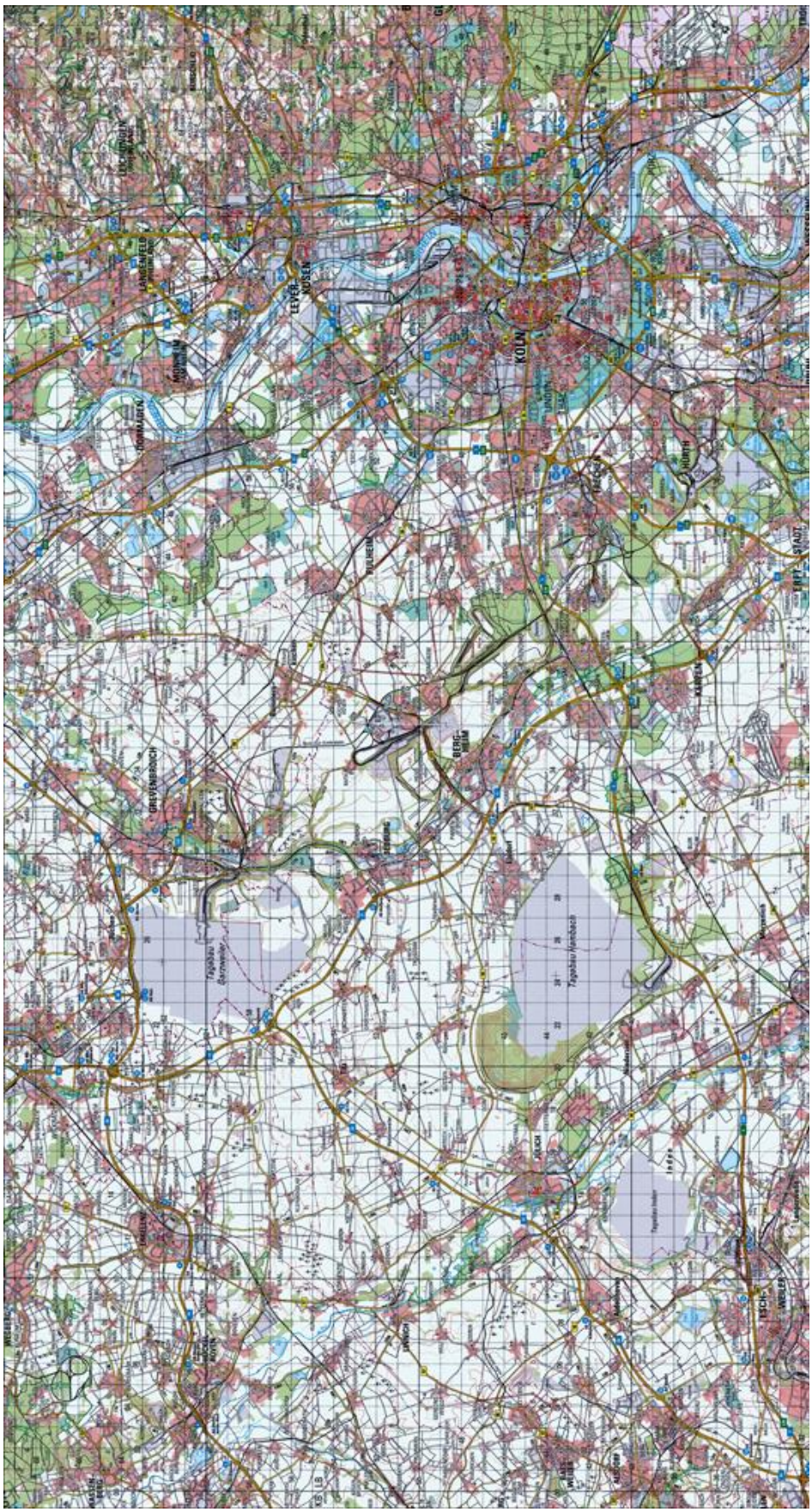
- Vollspurige Bahn, mehrgleisig, m. Bahnhof
- Vollspurige Bahn, eingleisig, m. Haltepunkt
- Anschlußgleis
- Schmalspurige Bahn
- Zahnradbahn
- Straßen- und Wirtschaftsbahn
- Seil- und Schwebebahn
- E 6 (A 14) — Autobahn mit Nummer einer Europastraße
- A 14 — Autobahn mit Nummer, im Bau
- Autostraße, im Bau
- Hochstraße
- 56 — Bundesstraße mit Nummer, im Bau
- Hauptstraße
- Nebenstraße
- Befestigter Fahrweg
- Wirtschaftsweg; Feld- und Waldweg
- Fußweg
- Brücke
- Steg

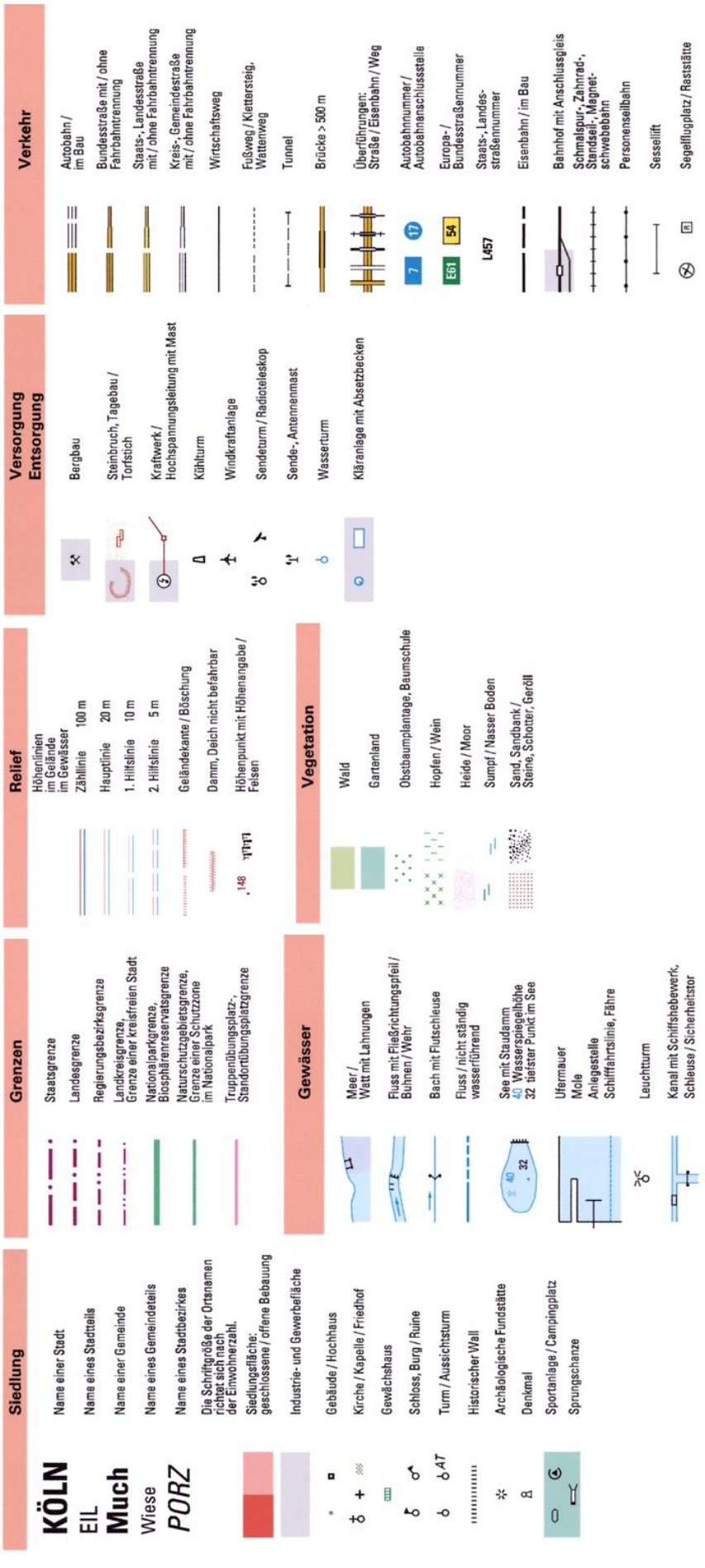
Gewässer und Geländeformen

20 m - Höhenlinie
10 m - "
5 m - "

Die Höhen sind in Meter über Normal-Null (NN) angegeben.

Anhang 18: Ausschnitt des Rheinischen Braunkohlereviers aus der TK 100 samt Legende (Jahr 2011)




Siedlung
KÖLN
EIL
Much
Wiese
PORZ
Name einer Stadt
Name eines Stadtteils
Name einer Gemeinde
Name eines Gemeindeteils
Name eines Stadtbezirkes
Die Schriftgröße der Ortsnamen richtet sich nach der Einwohnerzahl.
Siedlungsfläche: geschlossene / offene Bebauung
Industrie- und Gewerbefläche
Gebäude / Hochhaus
Kirche / Kapelle / Friedhof
Gewächshaus
Schloss, Burg / Ruine
Turm / Aussichtsturm
Historischer Wall
Archäologische Fundstätte
Denkmal
Sportanlage / Campingplatz
Sprungschanze
Grenzen
Staatsgrenze
Landesgrenze
Regierungsbezirksgrenze
Landkreisgrenze, Grenze einer kreisfreien Stadt
Nationalparkgrenze, Biosphärenreservatsgrenze
Naturschutzgebietsgrenze, Grenze einer Schutzzone im Nationalpark
Truppenübungsplatz-, Standortübungsplatzgrenze
Relief
Höhenlinien im Gelände im Gewässer
Zähllinie 100 m
Hauptlinie 20 m
1. Hilfslinie 10 m
2. Hilfslinie 5 m
Geländekante / Böschung
Damm, Deich nicht befahrbar
148
Höhenpunkt mit Höhenangabe / Felsen
Versorgung Entsorgung
Bergbau
Steinbruch, Tagebau / Torfstich
Kraftwerk / Hochspannungsleitung mit Mast
Kühlturm
Windkraftanlage
Sendeturm / Radioteleskop
Sende-, Antennenmast
Wasserturm
Kläranlage mit Absetzbecken
Verkehr
Autobahn / im Bau
Bundesstraße mit / ohne Fahrbahntrennung
Staats-, Landesstraße mit / ohne Fahrbahntrennung
Kreis-, Gemeindestraße mit / ohne Fahrbahntrennung
Wirtschaftsweg
Fußweg / Kletterseig, Wattenweg
Tunnel
Brücke > 500 m
Überführungen: Straße / Eisenbahn / Weg
Autobahnnummer / Autobahnanschlussstelle
7
17
Europa- / Bundesstraßennummer
E61
54
Staats-, Landesstraßennummer
L457
Eisenbahn / im Bau
Bahnhof mit Anschlussgleis
Schmalspur-, Zahnrad-, Standseil-, Magnetschwebebahn
Personenseilbahn
Sessellift
Segelflugplatz / Raststätte
Gewässer
Meer / Watt mit Lahnungen
Fluss mit Fließrichtungspfeil / Buhnen / Wehr
Bach mit Flutschleuse
Fluss / nicht ständig wasserführend
See mit Staudamm
40 Wasserspiegelhöhe
32 tiefster Punkt im See
Ufermauer
Mole
Anlegestelle
Schifffahrtslinie, Fähre
Leuchtturm
Kanal mit Schiffshebewerk, Schleuse / Sicherheitstor
Vegetation
Wald
Gartanland
Obstbaumplantage, Baumschule
Hopfen / Wein
Heide / Moor
Sumpf / Nasser Boden
Sand, Sandbank / Steine, Schotter, Geröll

Anhang 19: Arbeitsblätter »Der Braunkohleabbau«

GIS-Station

Hier bitte Ihren Personencode angeben

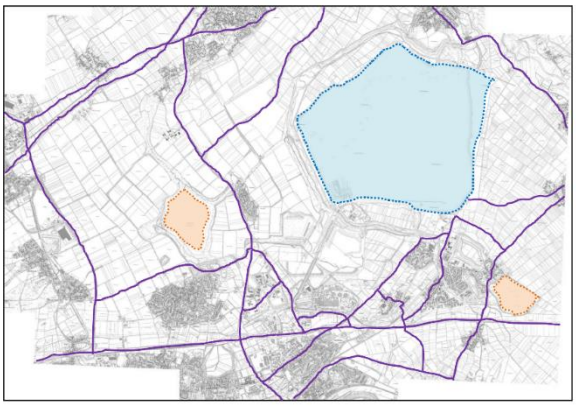
Der Braunkohleabbau

und seine Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft

Aufgabe 1: Das Abbaugebiet für Braunkohle kennenlernen

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) ***Benennen*** Sie mithilfe der *Grundkarte_2007* und *TopoKarte_2011* die unten eingezeichneten Landschaftselemente (siehe Anleitung zum Kartenlesen auf Seite 2). ***Zeichnen*** Sie die Lage von *mindestens* **7** weiteren Elementen ***ein*** und ***benennen*** Sie diese in der Legende.



Grundkarte_2007

Symbol	Landschaftselement	Symbol	Landschaftselement
	Braunkohletagebau		

Pädagogische Hochschule HEIDELBERG — Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg — Klaus Tschira Stiftung gemeinnützige GmbH KTS

WIE ERKENNE ICH WAS AUF DEN KARTEN DARGESTELLT IST?

1.) Die in der **Kartenlegende** dargestellten **Symbole** und **Beschriftungen/Abkürzungen** *erfassen* und auf den Karten *verorten* (*finden*).
2.) **Entfernungen**, **Größenverhältnisse** oder **Flächen** mithilfe des **Kartenmaßstabs** *bestimmen*.
3.) **Erkennen** = **Eigenes Wissen** über die als **Symbole** dargestellten Landschaftselemente
- *Welche Landschaftselemente sind auf den Karten zu sehen?*
- *Kommen Elemente mehrmals vor, z.B. in Gruppen? Gehören sie zusammen?*
- *Können kleinere Elemente zu größeren Strukturen zusammengefasst werden?*

b.) ***Unterstreichen*** Sie in der Legende *die* Elemente, die etwas mit dem Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen zu tun haben.

c.) ***Übernehmen*** Sie die unterstrichenen Elemente als Begriffe in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie mit den Begriffen und Verbindungen dort.

Aufgabe 2: Beziehungen & Zusammenhänge entdecken

ARBEITSAUFTRÄGE

Die *Grundkarte_2007* und *TopoKarte_2011* zeigen neben den Elementen selbst auch die Beziehungen und Zusammenhänge, die es zwischen ihnen gibt.

Ein Beispiel: Auf der Grundkarte ist eine dunkle Linie zwischen den Elementen bei **A** und **B** zu sehen (roter Kasten rechts).

Was ist bei A dargestellt und was bei B? Was ist die Linie dazwischen? Was hat sie mit dem Thema Braunkohleabbau zu tun?

a.) ***Erstellen*** Sie in der Tabelle unten eine Verbindung wie bei Ihrer Concept Map (oder wenn nötig mehrere), die beschreibt, was **A** und **B** miteinander zu tun haben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

b.) ***Erstellen*** Sie *mindestens* **4** weitere Verbindungen für Beziehungen und Zusammenhänge zum Thema, die Sie auf den Karten sehen. Sie können dafür Wörter aus Aufgabe 1b verwenden.

Ausgangsbegriff	⟶ Verbindungswort ⟶	Endbegriff

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

GIS-Station

Hier bitte Ihren Personencode angeben

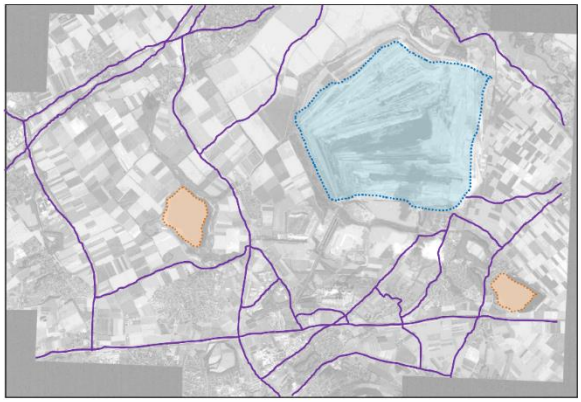
Der Braunkohleabbau

und seine Auswirkungen auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft

Aufgabe 1: Das Abbaugebiet für Braunkohle kennenlernen

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) **Benennen** Sie mithilfe der Bilder *Luftbild_2007* und *Satellitenbild_2010* die unten eingezeichneten Landschaftselemente (siehe Anleitung zum Bildlesen auf Seite 2). **Zeichnen** Sie die Lage von *mindestens* **7** weiteren Elementen ***ein*** und ***benennen*** Sie diese in der Legende.



Luftbild_2007

Symbol	Landschaftselement	Symbol	Landschaftselement
	Braunkohletagebau		

Pädagogische Hochschule HEIDELBERG — Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg — Klaus Tschira Stiftung gemeinnützige GmbH KTS

WIE ERKENNE ICH WAS AUF DEN BILDERN DARGESTELLT IST?

1.) Das Bild sinnvoll nach **Farben**, **Formen** (Punkte, Linien, Flächen), **Strukturen** *unterteilen*.
2.) **Entfernungen**, **Größen** oder **Flächen** *abschätzen*.
3.) **Erkennen** = **Eigenes Wissen** über das **Aussehen** von Landschaftselementen
- *Was sieht so aus, wenn man es sich von oben (d.h. aus großer Höhe) ansieht?*
- *Kommen Elemente mehrmals vor, z.B. in Gruppen? Gehören Sie zusammen?*
- *Können kleinere Elemente zu größeren Strukturen zusammengefasst werden?*

b.) ***Unterstreichen*** Sie in der Legende *die* Elemente, die etwas mit dem Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen zu tun haben.

c.) ***Übernehmen*** Sie die unterstrichenen Elemente als Begriffe in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie mit den Begriffen und Verbindungen dort.

Aufgabe 2: Beziehungen & Zusammenhänge entdecken

ARBEITSAUFTRÄGE

Das *Luftbild_2007* und *Satellitenbild_2010* zeigen neben den Elementen selbst auch die Beziehungen und Zusammenhänge, die es zwischen ihnen gibt.

Ein Beispiel: Auf dem Luftbild ist eine dunkle Linie zwischen den Elementen bei **A** und **B** zu sehen (roter Kasten rechts).

Was ist bei A dargestellt und was bei B? Was ist die Linie dazwischen? Was hat sie mit dem Thema Braunkohleabbau zu tun?

a.) ***Erstellen*** Sie in der Tabelle unten eine Verbindung wie bei Ihrer Concept Map (oder wenn nötig mehrere), die beschreibt, was **A** und **B** miteinander zu tun haben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

b.) ***Erstellen*** Sie *mindestens* **4** weitere Verbindungen für Beziehungen und Zusammenhänge zum Thema, die Sie auf den Bildern sehen. Sie können dafür Wörter aus Aufgabe 1b verwenden.

Ausgangsbegriff	⟶ Verbindungswort ⟶	Endbegriff

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

Beim Abbau von Braunkohle in einem offenen Tagebau wird durch Wind häufig *Staub* aufgewirbelt. Der *Staub* ist nicht selber auf den Karten zu sehen, anhand des offenen Tagebaus kann man aber auf das Phänomen der Staubaufwirbelung schließen.

d.) ***Finden*** Sie *mindestens* **4** weitere Dinge zum Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen, die es zwar in dem Abbaugebiet gibt, die aber *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind.

Staub	

e.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*) zum Thema Braunkohleabbau für alle Begriffe aus Aufgabe 2d. Jede Beziehung sollte dabei *mindestens* einen Begriff enthalten; Sie können diesen Begriff z.B. mit einem Landschaftselement aus Aufgabe 1b oder 2b verbinden (oder neue Begriffe wählen). ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff

f.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2e in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

Beim Abbau von Braunkohle in einem offenen Tagebau wird durch Wind häufig *Staub* aufgewirbelt. Der *Staub* ist nicht selber auf den Bildern zu sehen, anhand des offenen Tagebaus kann man aber auf das Phänomen der Staubaufwirbelung schließen.

d.) ***Finden*** Sie *mindestens* **4** weitere Dinge zum Thema Braunkohleabbau und seine Auswirkungen, die es zwar in dem Abbaugebiet gibt, die aber *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind.

Staub	

e.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*) zum Thema Braunkohleabbau für alle Begriffe aus Aufgabe 2d. Jede Beziehung sollte dabei *mindestens* einen Begriff enthalten; Sie können diesen Begriff z.B. mit einem Landschaftselement aus Aufgabe 1b oder 2b verbinden (oder neue Begriffe wählen). ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

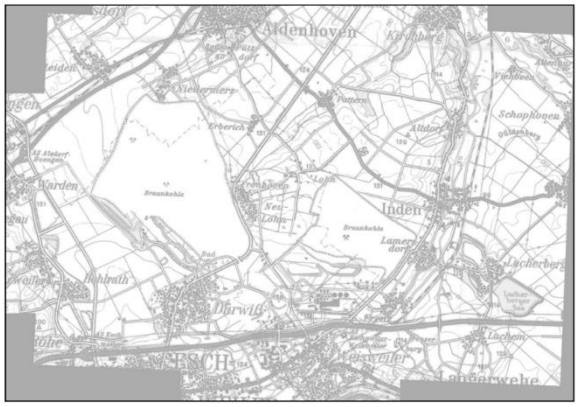
Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff

f.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 2e in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

Aufgabe 3: Die Entwicklung des Abbaus und seine Auswirkungen entdecken

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) ***Vergleichen*** Sie die *TopoKarte_1983* mit der *TopoKarte_2011* (siehe Anleitung unten). ***Zeichnen*** Sie *mindestens* **8** Stellen ***ein***, an denen unterschiedliche Veränderungen zwischen 1983 und 2011 aufgetreten sind, und ***nummerieren*** Sie diese.



TopoKarte_1983

Wie vergleiche ich Karten miteinander?

Jede Karte zeigt die Erdoberfläche so, wie sie zu diesem Zeitpunkt ausgesehen hat. Suchen Sie deshalb nach Veränderungen, wenn Sie die Karten miteinander vergleichen!!

Veränderungen in einem Gebiet können sein:

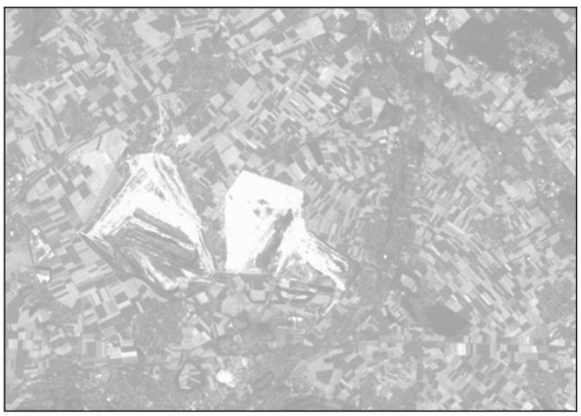
- **Änderungen** bei der **Form** oder **Größe** von Symbolen (Elementen)
- **Hinzukommen** neuer Symbole (Elemente) bzw. **Verschwinden** alter Symbole (Elemente)
- **Wechsel des Symbols** (wenn zum Beispiel aus einer Landstraße eine Bundesstraße wurde)

Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg 3

Aufgabe 3: Die Entwicklung des Abbaus und seine Auswirkungen entdecken

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) ***Vergleichen*** Sie das *Satellitenbild_1984* mit dem *Satellitenbild_2010* (siehe Anleitung unten). ***Zeichnen*** Sie *mindestens* **8** Stellen ***ein***, an denen unterschiedliche Veränderungen zwischen 1984 und 2010 aufgetreten sind, und ***nummerieren*** Sie diese.



Satellitenbild_1984

Wie vergleiche ich Satellitenbilder miteinander?

Jedes Satellitenbild zeigt die Erdoberfläche so, wie sie zum Aufnahmezeitpunkt ausgesehen hat. Suchen Sie deshalb nach Veränderungen, wenn Sie die Bilder miteinander vergleichen!!

Veränderungen in einem Gebiet können sein:

- **Änderungen** bei der **Form** oder **Größe** von Elementen
- **Hinzukommen** neuer Elemente bzw. **Verschwinden** alter Elemente
- **Farbänderungen** (ACHTUNG: jahreszeitliche Änderungen bei landwirtschaftlichen Flächen)

Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg 4

b.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*), die die Veränderungen an den eingezeichneten Stellen beschreiben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Nr.	Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 3b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Veränderungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind, die es aber in dem Abbaugebiet gegeben hat.

b.) ***Erstellen*** Sie Beziehungen (*Verbindungen*), die die Veränderungen an den eingezeichneten Stellen beschreiben. ***Verwenden*** Sie Verben als Verbindungswort!!

Nr.	Ausgangsbegriff	Verbindungswort →	Endbegriff
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

c.) ***Übernehmen*** Sie alle Verbindungen aus Aufgabe 3b in Ihre Concept Map und ***verknüpfen*** Sie sie dort entsprechend.

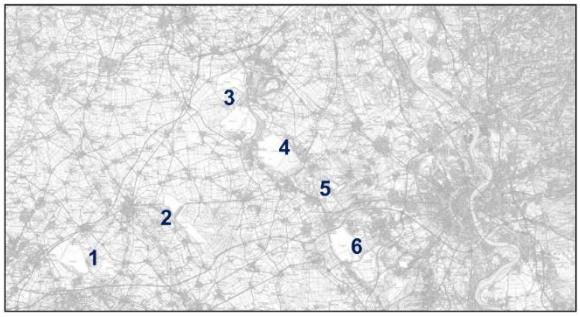
d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Veränderungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind, die es aber in dem Abbaugebiet gegeben hat.

Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg 5

Aufgabe 4: Die gesamte Abbauregion kennenlernen

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) ***Zeichnen*** Sie die Lage der Tagebaue im Jahr 2011 in den **6** nummerierten Gebieten unten ***ein***.



TopoKarte_Region_1983

b.) ***Fassen*** Sie die Entwicklung und wichtigsten Auswirkungen des Braunkohleabbaus zwischen 1983 und 2011 in den 6 Gebieten stichwortartig ***zusammen***.

Gebiet	Entwicklung und Auswirkungen zwischen 1983 und 2011
1	
2	
3	
4	
5	
6	

c.) ***Übernehmen*** Sie *nur die* Entwicklungen und Auswirkungen aus Aufgabe 4b in Ihre Concept Map, die Sie dort noch nicht haben, und ***verknüpfen*** Sie sie entsprechend.

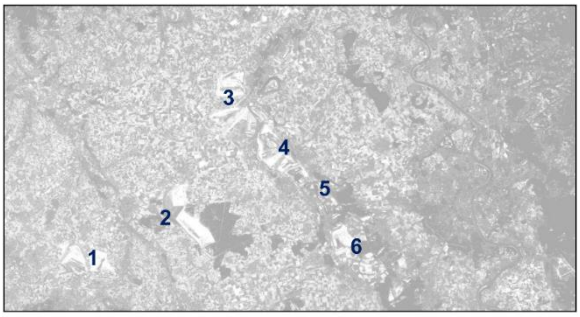
d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Entwicklungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Karten zu sehen sind, die es aber in der Region gegeben hat.

Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg 5

Aufgabe 4: Die gesamte Abbauregion kennenlernen

ARBEITSAUFTRÄGE

a.) ***Zeichnen*** Sie die Lage der Tagebaue im Jahr 2010 in den **6** nummerierten Gebieten unten ***ein***.



Satellitenbild_1984

b.) ***Fassen*** Sie die Entwicklung und wichtigsten Auswirkungen des Braunkohleabbaus zwischen 1984 und 2010 in den 6 Gebieten stichwortartig ***zusammen***.

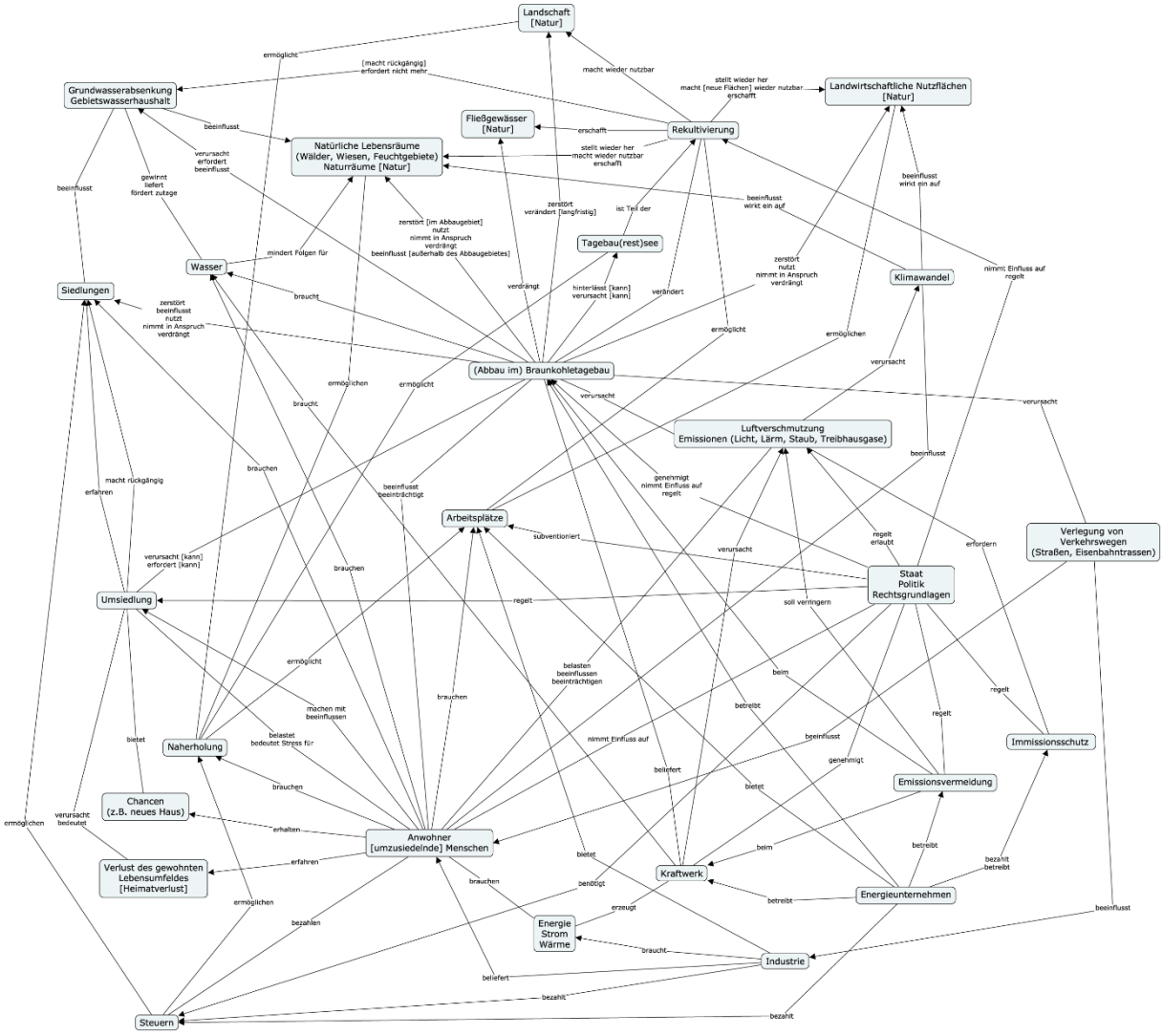
Gebiet	Entwicklung und Auswirkungen zwischen 1984 und 2010
1	
2	
3	
4	
5	
6	

c.) ***Übernehmen*** Sie *nur die* Entwicklungen und Auswirkungen aus Aufgabe 4b in Ihre Concept Map, die Sie dort noch nicht haben, und ***verknüpfen*** Sie sie entsprechend.

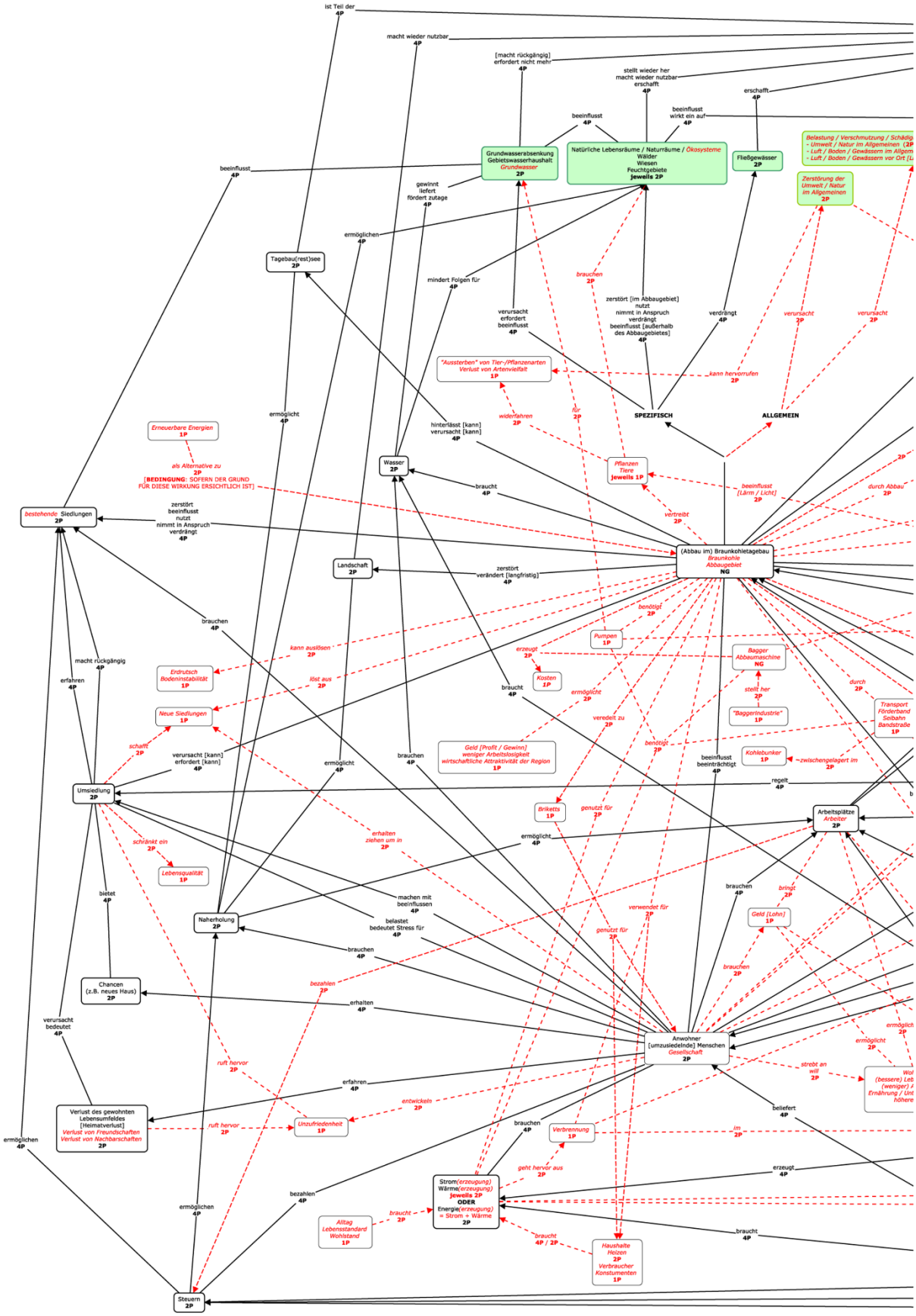
d.) ***Erweitern*** Sie Ihre Concept Map selbständig um Entwicklungen und Auswirkungen, die zwar *nicht selber* auf den Bildern zu sehen sind, die es aber in der Region gegeben hat.

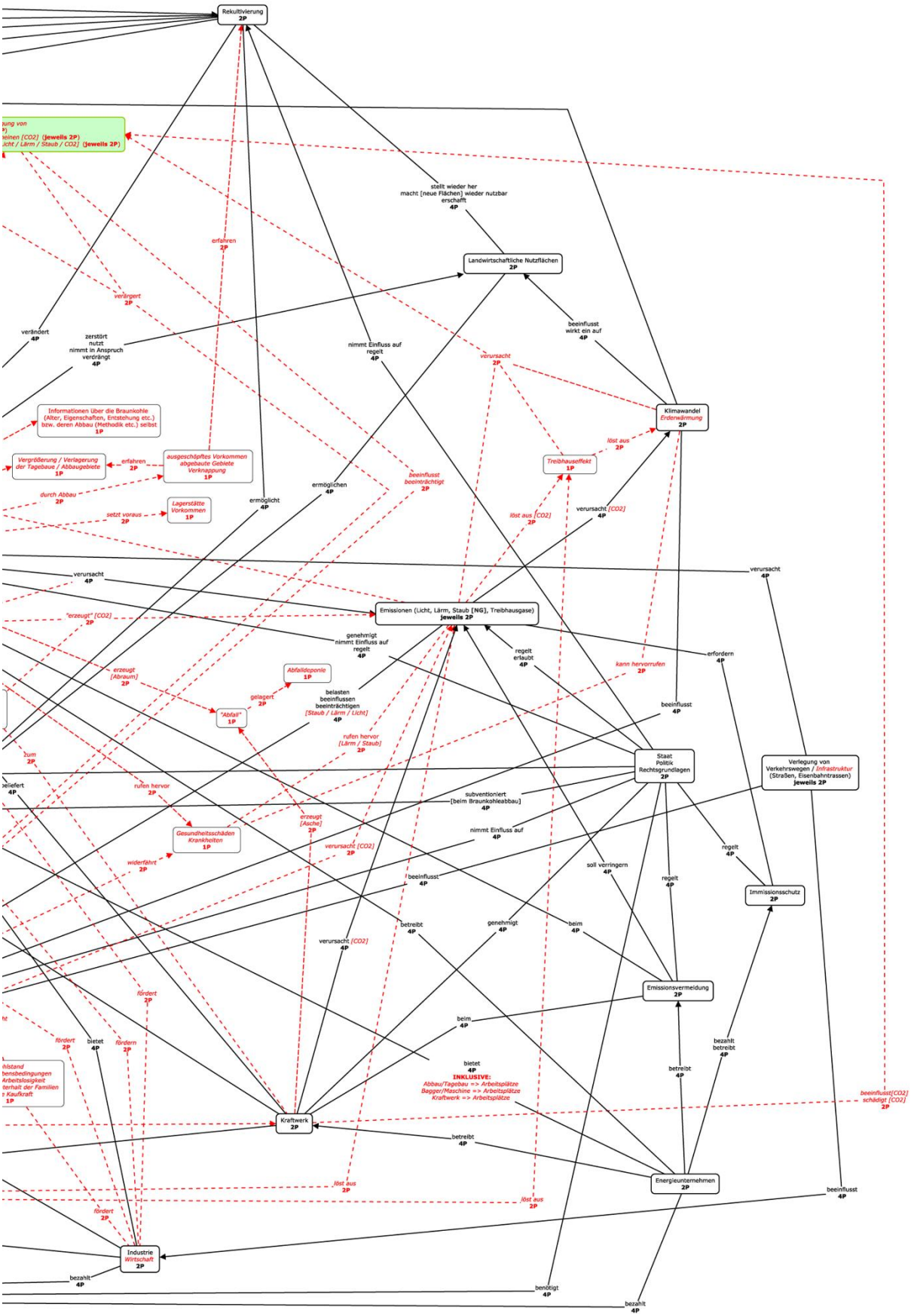
Ein Projekt der Klaus Tschira Stiftung gGmbH an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg 6

Anhang 20: Referenznetz zum Braunkohleabbau

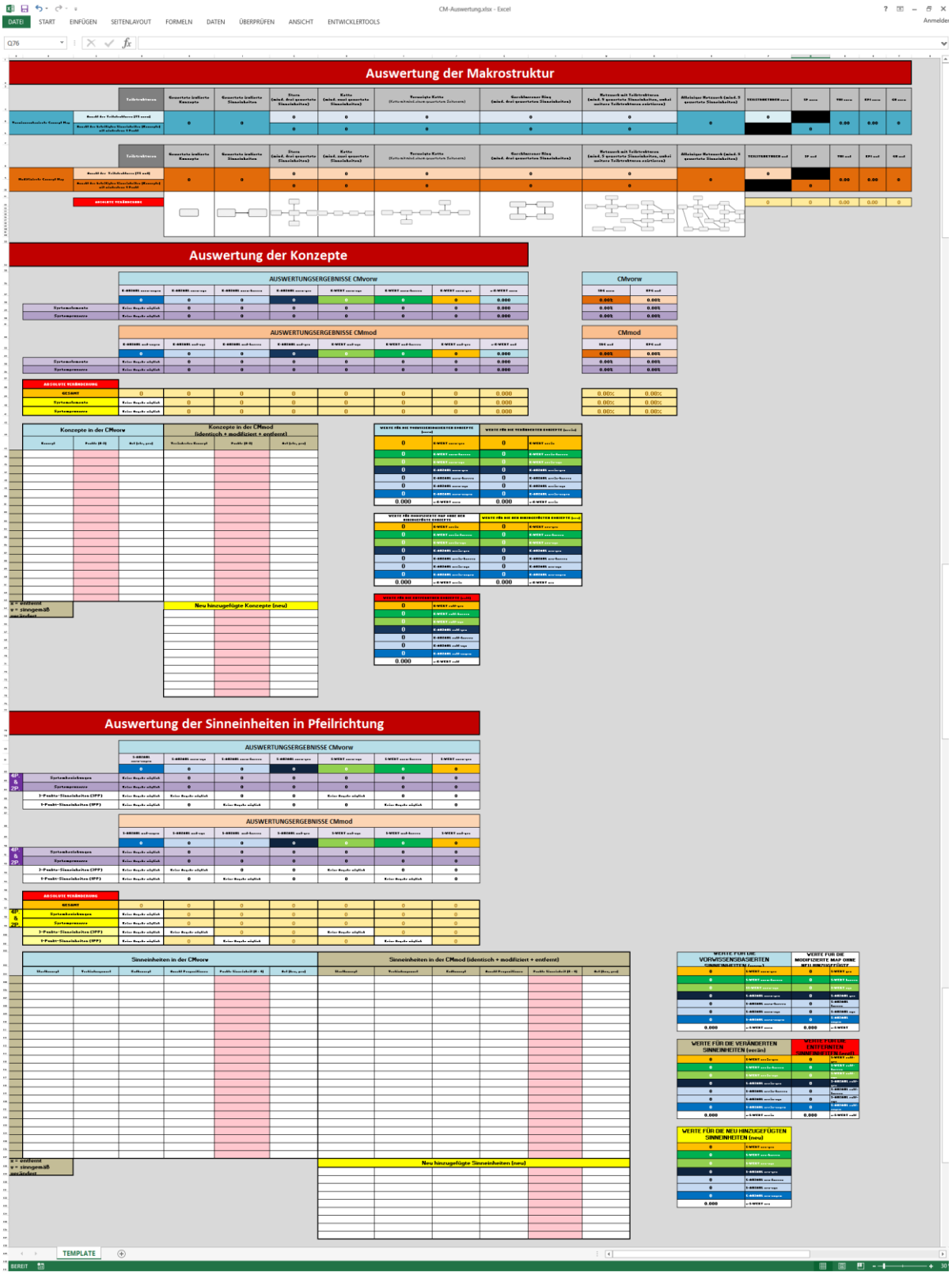


Anhang 21: Um systemrelevante Inhalte/Strukturen aus den CMs der Proband/innen ergänztes Referenznetz zum Braunkohleabbau (mit vergebenen Punkten)


(Abbau im) Braunkohletagebau
Braunkohle
Abbaugebiet
NG
Grundwasserabsenkung
Gebietswasserhaushalt:
Grundwasser
2P
Natürliche Lebensräume / Naturräume / Ökosysteme
Wälder
Wiesen
Feuchtgebiete
jeweils 2P
Fließgewässer
2P
Tagebau(rest)see
2P
Wasser
2P
Landschaft
2P
bestehende Siedlungen
2P
Umsiedlung
2P
Neue Siedlungen
1P
Naherholung
2P
Chancen
(z.B. neues Haus)
2P
Arbeitsplätze
Arbeiter
2P
Anwohner
[umzusiedelnde] Menschen
Gesellschaft
2P
Steuern
2P
Verlust des gewohnten
Lebensumfeldes
[Heimatverlust]
Verlust von Freundschaften
Verlust von Nachbarschaften
2P
Unzufriedenheit
1P
Lebensqualität
1P
Erdrutsch
Bodeninstabilität
1P
Erneuerbare Energien
1P
Strom(erzeugung)
Wärme(erzeugung)
jeweils 2P
ODER
Energie(erzeugung)
= Strom + Wärme
2P
Alltag
Lebensstandard
Wohlstand
1P
Haushalte
Heizen
2P
Verbraucher
Konsumenten
1P
Verbrennung
1P
Pumpen
1P
Kosten
1P
Bagger
Abbaumaschine
NG
"Baggerindustrie"
1P
Transport
Förderband
Seilbahn
Bandstraße
1P
Kohlebunker
1P
Briketts
1P
Geld [Profit / Gewinn]
weniger Arbeitslosigkeit
wirtschaftliche Attraktivität der Region
1P
Geld (Lohn)
1P
Pflanzen
Tiere
jeweils 1P
"Aussterben" von Tier-/Pflanzenarten
Verlust von Artenvielfalt
1P
Zerstörung der
Umwelt / Natur
im Allgemeinen
2P
SPEZIFISCH
ALLGEMEIN
ist Teil der 4P
macht wieder nutzbar 4P
[macht rückgängig]
erfordert nicht mehr 4P
stellt wieder her
macht wieder nutzbar
erschafft 4P
erschafft 4P
beeinflusst 4P
beeinflusst
wirkt ein auf 4P
beeinflusst 4P
gewinnt
liefert
fördert zutage 4P
ermöglichen 4P
mindert Folgen für 4P
verursacht
erfordert
beeinflusst 4P
zerstört [im Abbaugebiet]
nutzt
nimmt in Anspruch
verdrängt
beeinflusst [außerhalb
des Abbaugebietes]
4P
verdrängt 4P
hinterlässt [kann]
verursacht [kann]
4P
ermöglicht 4P
zerstört
beeinflusst
nutzt
nimmt in Anspruch
verdrängt
4P
zerstört
verändert [langfristig]
4P
braucht 4P
brauchen 4P
macht rückgängig 4P
erfahren 4P
verursacht [kann]
erfordert [kann]
4P
ermöglicht 4P
bietet 4P
verursacht
bedeutet
4P
ermöglichen 4P
ermöglichen 4P
bezahlen 4P
erhalten 4P
machen mit
beeinflussen 4P
belastet
bedeutet Stress für 4P
regelt 4P
beeinflusst
beeinträchtigt 4P
verursacht 4P
erfahren 4P
bezahlen 4P
braucht 4P
erzeugt 4P
beliefert 4P
brauchen 4P
brauchen 4P
brauchen


Rekultivierung
2P
stellt wieder her
macht [neue Flächen] wieder nutzbar
erschafft
4P
Landwirtschaftliche Nutzflächen
2P
erfahren
2P
verringert
2P
verändert
4P
zerstört
nutzt
nimmt in Anspruch
verdrängt
4P
nimmt Einfluss auf
regelt
4P
beeinflusst
wirkt ein auf
4P
verursacht
2P
Klimawandel
Erderwärmung
2P
Informationen über die Braunkohle
(Alter, Eigenschaften, Entstehung etc.)
bzw. deren Abbau (Methodik etc.) selbst
1P
Vergrößerung / Verlagerung
der Tagebaus / Abbaugebiete
1P
erfahren
2P
ausgeschöpftes Vorkommen
abgebaute Gebiete
Verknappung
1P
Treibhauseffekt
1P
löst aus
2P
durch Abbau
2P
setzt voraus
2P
Lagerstätte
Vorkommen
1P
ermöglichen
4P
ermöglicht
4P
beeinflusst
beeinträchtigt
2P
löst aus [CO2]
2P
verursacht [CO2]
4P
verursacht
4P
verursacht
4P
"erzeugt" [CO2]
2P
Emissionen (Licht, Lärm, Staub [NG], Treibhausgase)
jeweils 2P
genehmigt
nimmt Einfluss auf
regelt
4P
regelt
erlaubt
4P
kann hervorrufen
2P
erfordern
4P
erzeugt
[Abraum]
2P
Abfalldeponie
1P
gelagert
2P
belasten
beeinflussen
beeinträchtigen
[Staub / Lärm / Licht]
4P
"Abfall"
1P
rufen hervor
[Lärm / Staub]
2P
beeinflusst
4P
Staat
Politik
Rechtsgrundlagen
2P
Verlegung von
Verkehrswegen / Infrastruktur
(Straßen, Eisenbahntrassen)
jeweils 2P
rufen hervor
2P
subventioniert
[beim Braunkohleabbau]
4P
Gesundheitsschäden
Krankheiten
1P
erzeugt
[Asche]
2P
nimmt Einfluss auf
4P
widerfahrt
2P
verursacht [CO2]
2P
soll verringern
4P
regelt
4P
regelt
4P
Immissionsschutz
2P
beeinflusst
4P
betreibt
4P
genehmigt
4P
beim
4P
verursacht [CO2]
4P
Emissionsvermeidung
2P
fördert
2P
beim
4P
fördert
2P
bietet
4P
fördern
2P
bietet
4P
INKLUSIVE:
Abbau/Tagebau => Arbeitsplätze
Bagger/Maschine => Arbeitsplätze
Kraftwerk => Arbeitsplätze
betreibt
4P
bezahlt
betreibt
4P
beeinflusst[CO2]
schädigt [CO2]
2P
Kraftwerk
2P
betreibt
4P
Energieunternehmen
2P
löst aus
2P
löst aus
2P
beeinflusst
4P
fördert
2P
Industrie
Wirtschaft
2P
bezahlt
4P
benötigt
4P
bezahlt
4P

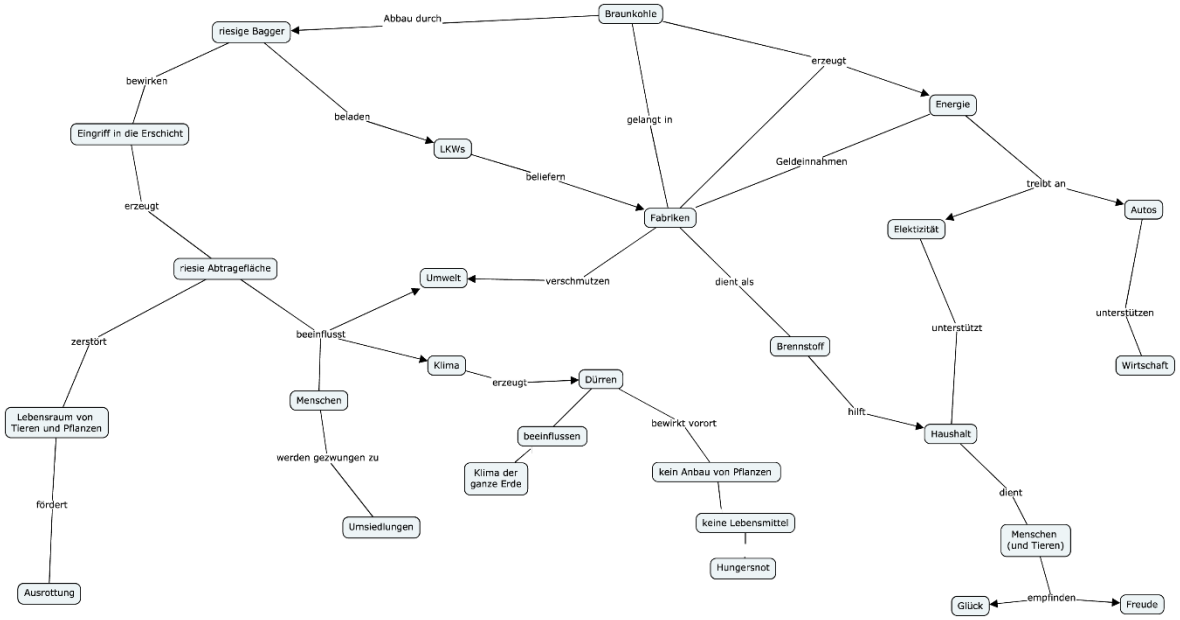
Anhang 22: Entwickelte Exceldatei für die CM-Auswertung



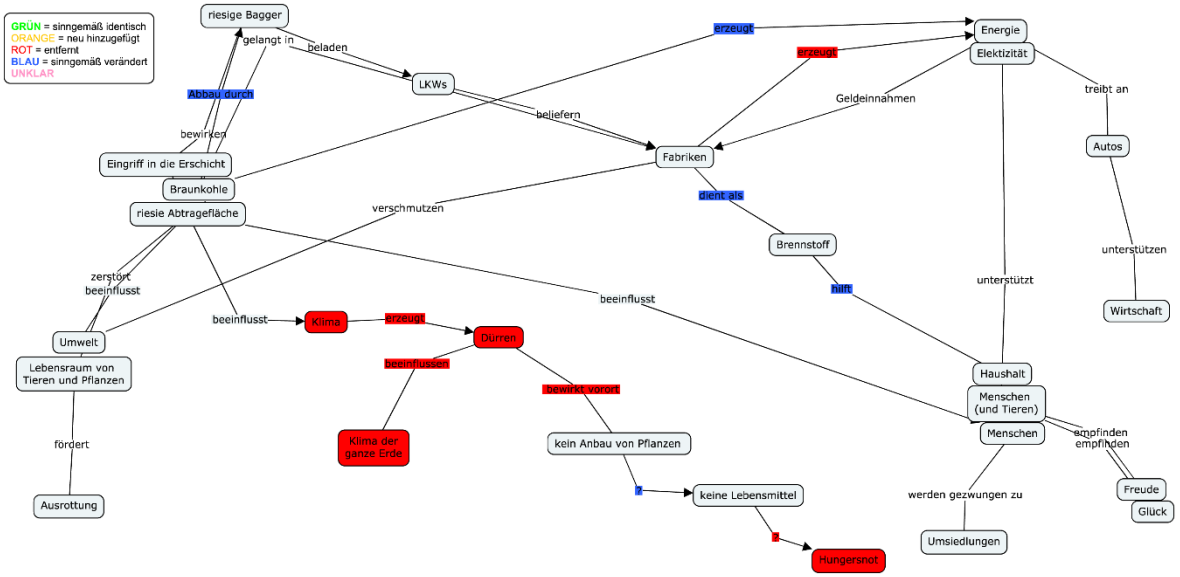
Anhang 23: Beispiele für ausgewertete CMs

Beispiel 1: CM_{vorw}

a.) Original:

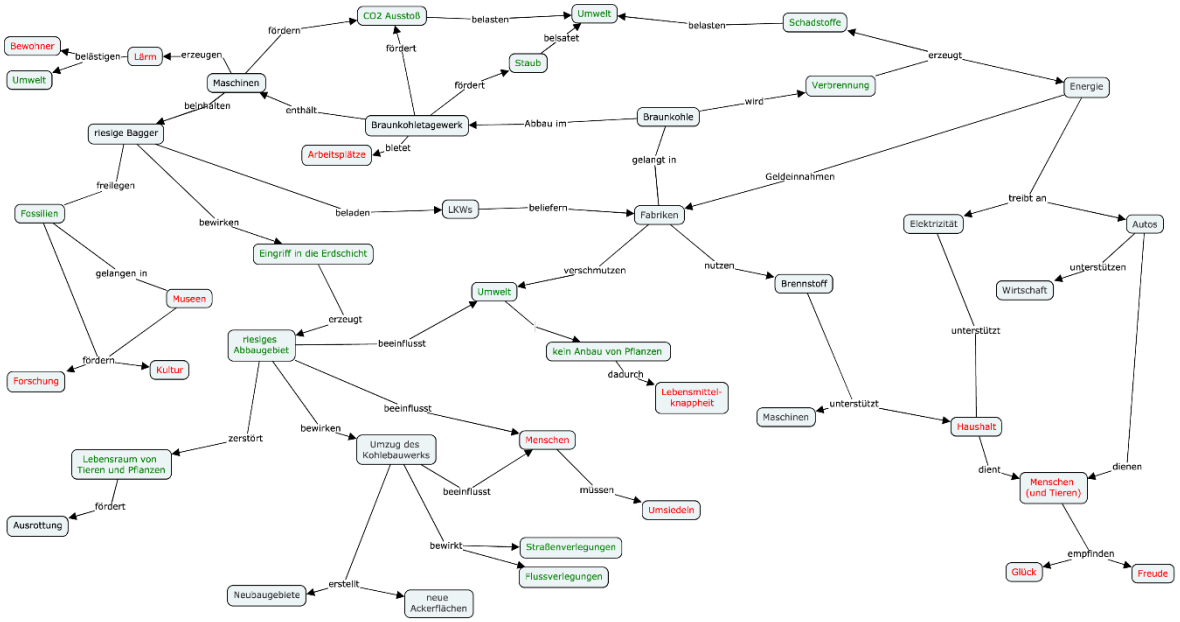


b.) Nach der Auswertung:

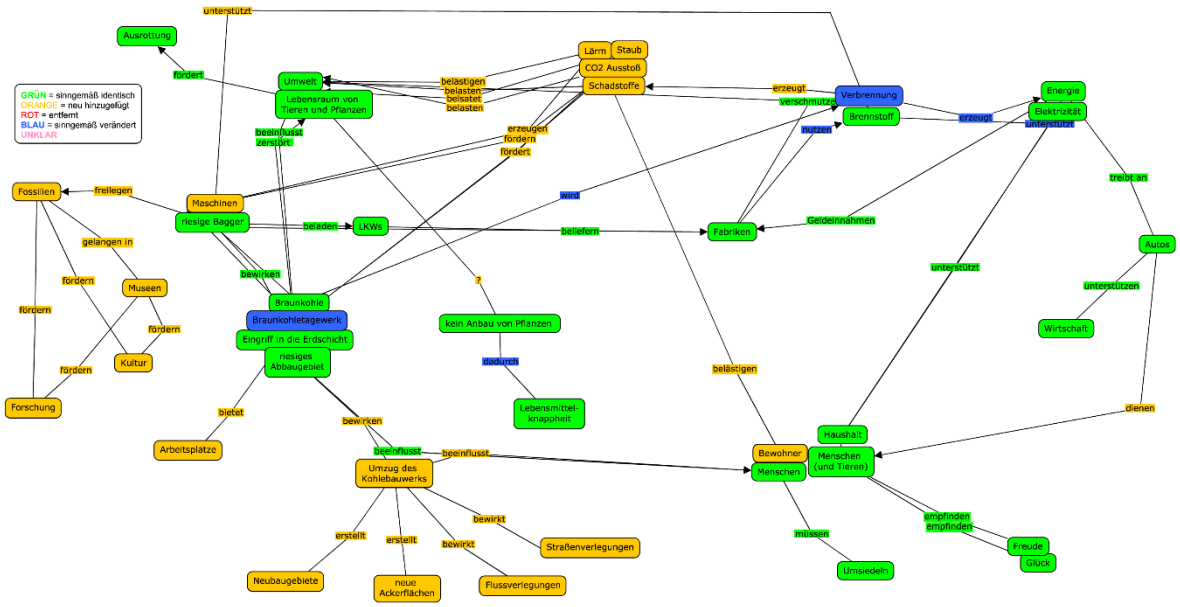


Beispiel 1: CM_{mod}

a.) Original:

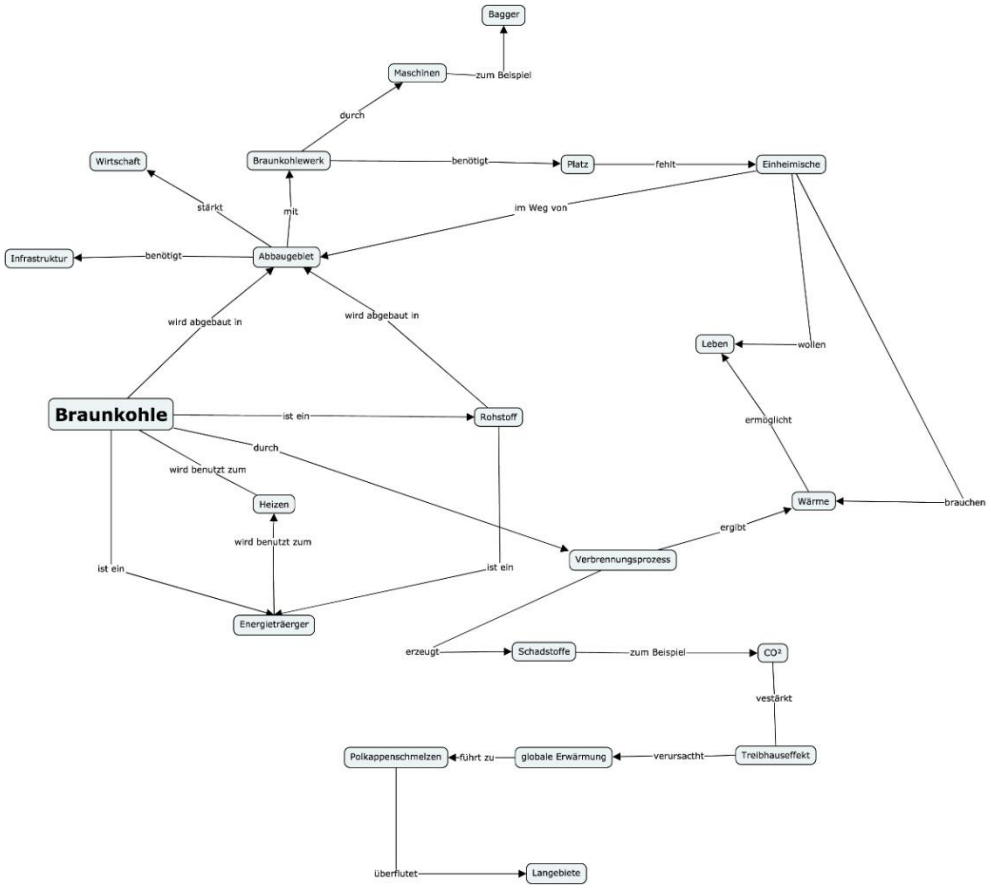


b.) Nach der Auswertung:

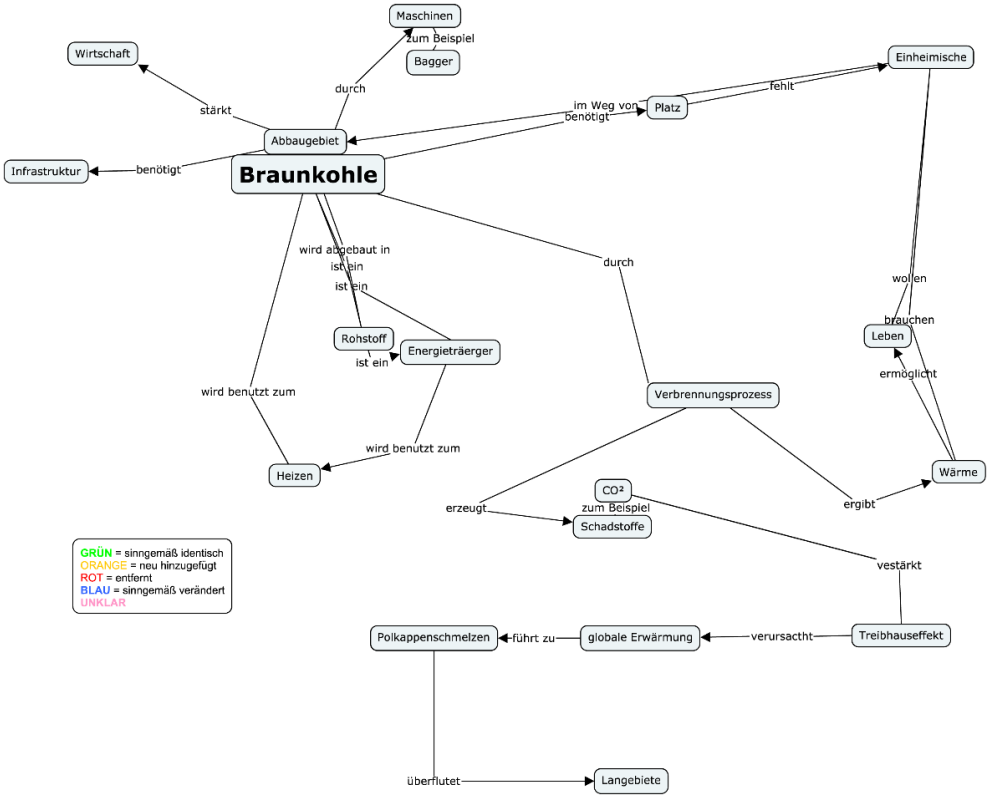


Beispiel 2: CM_{vorw}

a.) Original:

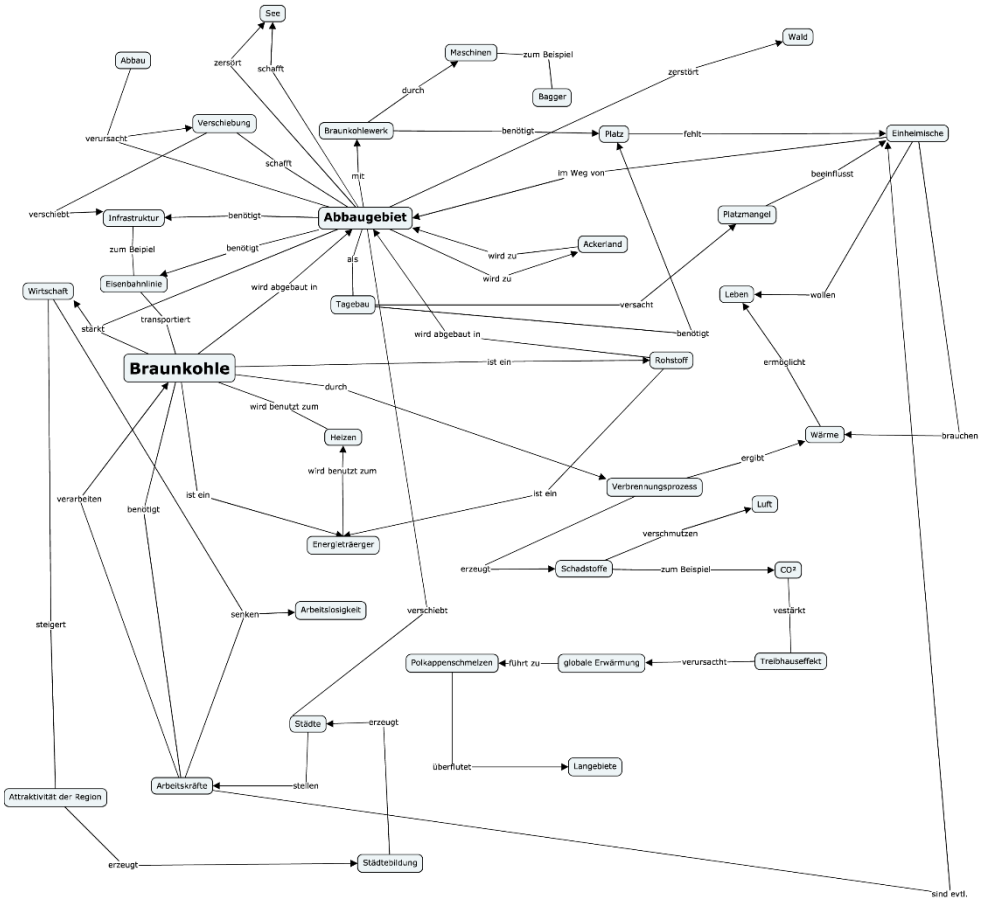


b.) Nach der Auswertung:

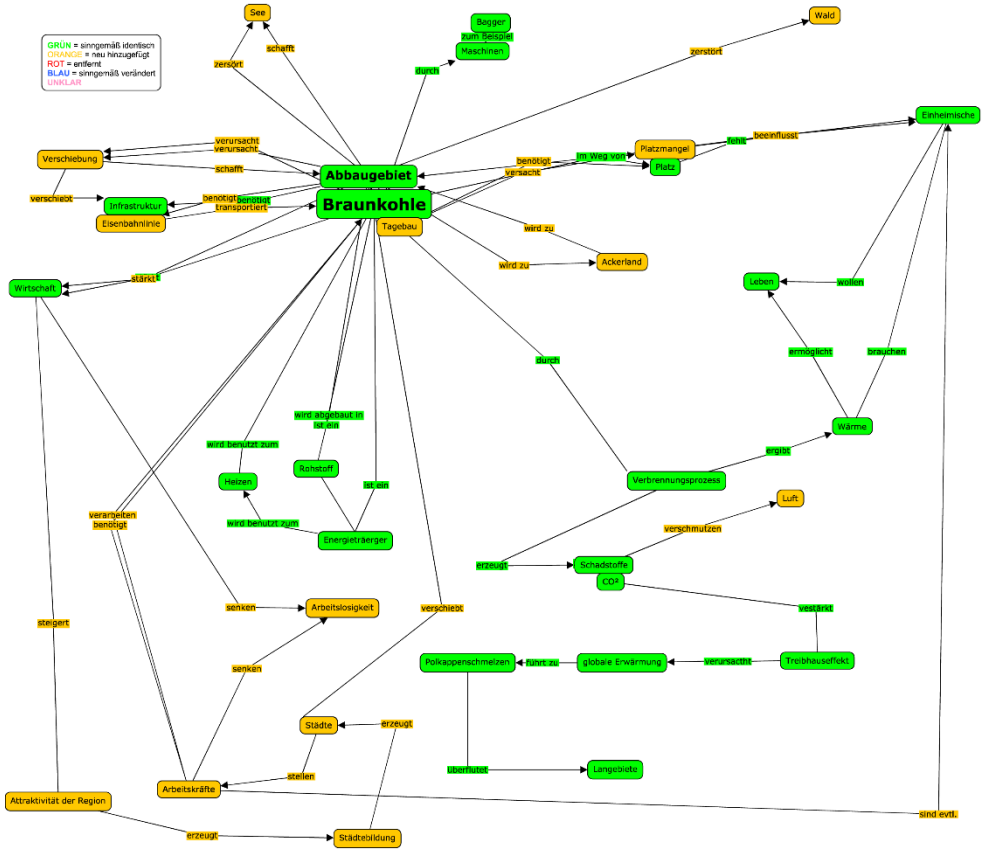


Beispiel 2: CM_{mod}

a.) Original:



b.) Nach der Auswertung:



Anhang 24: Durch die beiden Rater identifizierter Charakter der Konzepte und Sinneinheiten im Referenznetz

a.) Identifizierter Charakter der Referenznetz-Konzepte

Konzept	Charakter
(Abbau im) Braunkohletagebau	Startbegriff
Landschaft	Systemelement
Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt	Systemprozess
Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systemelement
Wasser	Systemelement
Siedlungen	Systemelement
Fließgewässer	Systemelement
Chancen (z.B. neues Haus)	Systemelement
Umsiedlung	Systemprozess
Rekultivierung	Systemprozess
Landwirtschaftliche Nutzflächen	Systemelement
Arbeitsplätze	Systemelement
Energie / Strom / Wärme	Systemelement
Industrie	Systemelement
Kraftwerk	Systemelement
Energieunternehmen	Systemelement
Naherholung	Systemelement
Heimatverlust / Verlust des gewohnten Lebensumfeldes	Systemprozess
Immissionsschutz	Systemprozess
Emissionsvermeidung	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen	Systemelement
Verlegung von Verkehrswegen (Straßen/Eisenbahntrassen)	Systemprozess
Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)	Systemelement
Steuern	Systemelement
Klimawandel	Systemprozess
Tagebau(rest)see	Systemelement

b.) Identifizierter Charakter der Referenznetz-Sinneinheiten

Sinneinheit	Charakter
Rekultivierung – stellt wieder her / macht [neue Flächen] wieder nutzbar / erschafft – Landwirtschaftlichen Nutzflächen	Systemprozess
Rekultivierung – macht wieder nutzbar – Landschaft	Systemprozess
(Abbau im) Braunkohletagebau – zerstört / verändert [langfristig] – Landschaft	Systemprozess
Landschaft – ermöglicht – Naherholung	Systembeziehung
Rekultivierung – [macht rückgängig] / erfordert nicht mehr – Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt	Systemprozess
Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt – beeinflusst – Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systemprozess

(Abbau im) Braunkohletagebau – verursacht / erfordert / beeinflusst – Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt	Systemprozess
Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt – gewinnt / liefert / fördert zutage – Wasser	Systemprozess
Grundwasserabsenkung / Grundwasserhaushalt – beeinflusst – Siedlungen	Systemprozess
Rekultivierung – erschafft – Fließgewässer	Systemprozess
Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume – ermöglichen – Naherholung	Systembeziehung
Wasser – mindert Folgen für – Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – zerstört [im Abbaugebiet] / nutzt / nimmt in Anspruch / verdrängt / beeinflusst [außerhalb des Abbaugebietes] – Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systemprozess
Rekultivierung – stellt wieder her / macht wiedernutzbar [neue Flächen] / erschafft – Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systemprozess
Klimawandel – beeinflusst / wirkt ein auf – Natürliche Lebensräume (Wälder, Wiesen, Feuchtgebiete) / Naturräume	Systemprozess
(Abbau im) Braunkohletagebau – braucht – Wasser	Systembeziehung
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – brauchen – Wasser	Systembeziehung
Kraftwerk – braucht – Wasser	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – verdrängt – Fließgewässer	Systemprozess
Rekultivierung – ermöglicht – Arbeitsplätze	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – zerstört / nutzt / nimmt in Anspruch / verdrängt – Landwirtschaftliche Nutzflächen	Systemprozess
Tagebau(rest)see – ist Teil der – Rekultivierung	Systembeziehung
Tagebau(rest)see – ermöglicht – Naherholung	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – kann hinterlassen / kann verursachen – Tagebau(rest)see	Systemprozess
Rekultivierung – verändert – (Abbau im) Braunkohletagebau	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – nimmt Einfluss auf / regelt – Rekultivierung	Systemprozess
Klimawandel – beeinflusst / wirkt ein auf – Landwirtschaftlichen Nutzflächen	Systemprozess
Landwirtschaftliche Nutzflächen – ermöglichen – Naherholung	Systembeziehung
Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase) – verursacht – Klimawandel	Systemprozess
Klimawandel – beeinflusst – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess
(Abbau im) Braunkohletagebau – zerstört / beeinflusst / nutzt / nimmt in Anspruch / verdrängt – Siedlungen	Systemprozess
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – brauchen – Siedlungen	Systembeziehung
Umsiedlung – macht rückgängig – Siedlungen Siedlungen – erfahren – Umsiedlung	Systemprozess
Steuern – ermöglichen – Siedlungen	Systembeziehung
Umsiedlung – bietet – Chancen (z.B. neues Haus)	Systembeziehung
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – erhalten – Chancen (z.B. neues Haus)	Systembeziehung
Umsiedlung – verursacht / bedeutet – Verlust des gewohnten Lebensumfeldes / [Heimatverlust]	Systemprozess
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – erfahren – Verlust des gewohnten Lebensumfeldes / [Heimatverlust]	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – kann verursachen / kann erfordern – Umsiedlung	Systemprozess
(Abbau im) Braunkohletagebau – verursacht – Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)	Systemprozess
(Abbau im) Braunkohletagebau – verursacht – Verlegung von Verkehrswegen (Straßen, Eisenbahntrassen)	Systemprozess

Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – genehmigt / nimmt Einfluss auf / regelt – (Abbau im) Braunkohletagebau	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – genehmigt / nimmt Einfluss auf / regelt – Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)	Systemprozess
Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase) – belasten / beeinflussen / beeinträchtigen – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systembeziehung
Kraftwerk – verursacht – Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)	Systemprozess
Emissionsvermeidung – soll verringern – Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase)	Systemprozess
Luftverschmutzung / Emissionen (Licht, Lärm, Staub, Treibhausgase) – erfordern – Immissionsschutz	Systembeziehung
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – regelt – Immissionsschutz	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – regelt – Emissionsvermeidung	Systemprozess
Verlegung von Verkehrswegen (Straßen, Eisenbahntrassen) – beeinflusst – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess
Verlegung von Verkehrswegen (Straßen, Eisenbahntrassen) – beeinflusst – Industrie	Systemprozess
Energieunternehmen – bezahlt / betreibt – Immissionsschutz	Systembeziehung
Energieunternehmen – betreibt – Emissionsvermeidung	Systembeziehung
Energieunternehmen – betreibt – Kraftwerk	Systembeziehung
Energieunternehmen – bezahlt – Steuern	Systemprozess
Emissionsvermeidung – beim – Kraftwerk	Systembeziehung
Emissionsvermeidung – beim – (Abbau im) Braunkohletagebau	Systembeziehung
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – genehmigt – Kraftwerk	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – benötigt – Steuern	Systembeziehung
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – nimmt Einfluss auf – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – subventioniert – Arbeitsplätze	Systemprozess
Staat / Politik / Rechtsgrundlagen – regelt – Umsiedlung	Systemprozess
Energieunternehmen – betreibt – (Abbau im) Braunkohletagebau	Systemprozess
Energieunternehmen – bietet – Arbeitsplätze	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – beliefert – Kraftwerk	Systemprozess
Industrie – bietet – Arbeitsplätze	Systembeziehung
Industrie – braucht – Energie / Strom / Wärme	Systembeziehung
Industrie – bezahlt – Steuern	Systemprozess
Industrie – beliefert – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess
Kraftwerk – erzeugt – Energie / Strom / Wärme	Systemprozess
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – brauchen – Energie / Strom / Wärme	Systembeziehung
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – bezahlen – Steuern	Systemprozess
Steuern – ermöglichen – Naherholung	Systembeziehung
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – brauchen – Naherholung	Systembeziehung
Umsiedlung – belastet / bedeutet Stress für – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess
Naherholung – ermöglicht – Arbeitsplätze	Systembeziehung
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – machen mit / beeinflussen – Umsiedlung	Systemprozess
Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen – brauchen – Arbeitsplätze	Systembeziehung
(Abbau im) Braunkohletagebau – beeinflusst / beeinträchtigt – Anwohner / [umzusiedelnde] Menschen	Systemprozess

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass Inhalt und Form dieser Arbeit von mir selbstständig und – abgesehen von der Beratung durch die im Vorwort genannten Personen – ohne fremde Hilfe erstellt worden sind. Es sind keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt worden und es sind alle aus anderen Quellen direkt wie indirekt entnommenen Inhalte als solche kenntlich gemacht.

Ferner erkläre ich, dass von mir zuvor noch kein Promotionsversuch unternommen worden ist und dass diese Arbeit von mir weder vollständig, noch in Teilen an anderer Stelle für ein Prüfungsverfahren vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht worden ist.

Düren, den

Anlage zu

Digitale Luft- und Satellitenbilder in der Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Eine empirische Untersuchung mit Kursstufenschüler/innen zur Wirksamkeit für die systemische Erschließung von Erdräumen am Beispiel des Braunkohleabbaus im Rheinland

Von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation von

Markus Jahn

aus

Düren (Rheinl.)

2020

Dissertation an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

Erstgutachter:

Prof. Dr. Alexander Siegmund

Pädagogische Hochschule Heidelberg

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Klaus-Dieter Hupke

Pädagogische Hochschule Heidelberg

Fach:

Geographie

Tag der Mündlichen Prüfung:

12.12.2019

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Computerumgang 1

Anlage 2: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein 2

Anlage 3: Deskriptive Statistik zur Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion 3

Anlage 4: Deskriptive Statistik zum Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung 4

Anlage 5: Deskriptive Statistik zur Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung 5

Anlage 6: Deskriptive Statistik zur wahrgenommenen Kompetenz bei der visuellen Auswertung 6

Anlage 7: Deskriptive Statistik zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung 7

Anlage 8: Ergebnisse der Untersuchung zum potenziellen Einfluss der Störvariable Klasse 8

Anlage 9: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA 18

Anlage 10: Ergebnisse der einfaktoriellen ANCOVA 51

Anlage 1: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Computerumgang

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Ich kann gut mit Computern umgehen.						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	26,0%	**39,4%**	30,7%	3,1%	0,8%	
VG (*N* = 108)	25,0%	**48,1%**	24,1%	1,9%	0,9%	
Ich finde das Arbeiten mit Computern sehr einfach.						
UG (*N* = 127)	19,7%	**42,5%**	33,9%	2,4%	1,6%	
VG (*N* = 108)	20,4%	**38,9%**	32,4%	7,4%	0,9%	
Ich mag es mit Computern zu arbeiten.						
UG (*N* = 127)	22,0%	**43,3%**	23,6%	7,9%	3,1%	
VG (*N* = 108)	22,2%	**42,6%**	21,3%	11,1%	2,8%	
Ich glaube ich werde immer Probleme im Umgang mit Computern haben. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	39,4%	**38,6%**	17,3%	2,4%	2,4%	
VG (*N* = 108)	39,8%	**35,2%**	15,7%	9,3%	--	
Ich interessiere mich sehr für die Arbeit mit Computern.						
UG (*N* = 127)	7,9%	25,2%	**42,5%**	18,9%	5,5%	
VG (*N* = 108)	11,1%	19,4%	**38,9%**	26,9%	3,7%	
Den Umgang mit Computern finde ich viel zu kompliziert. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	47,2%	**32,3%**	16,5%	3,9%	--	
VG (*N* = 108)	45,5%	**36,1%**	15,7%	1,9%	0,9%	
Bei der Arbeit mit Computern habe ich Angst, Fehler zu machen. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	48,8%	**40,3%**	6,3%	3,1%	1,6%	
VG (*N* = 108)	48,1%	**29,6%**	15,7%	4,6%	1,9%	

Anlage 2: Deskriptive Statistik zur Selbstwirksamkeit Luft- und Satellitenbildarbeit bzw. Kartenarbeit allgemein

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Ich kann gut mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG) umgehen.						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	2,4%	18,1%	**52,0%**	23,6%	3,9%	
VG (*N* = 108)	4,6%	41,7%	**34,3%**	18,5%	0,9%	
Ich finde die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG) sehr einfach.						
UG (*N* = 127)	2,4%	15,7%	**59,1%**	15,7%	2,4%	
VG (*N* = 108)	1,9%	20,4%	**48,1%**	23,1%	6,5%	
Ich mag es mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG) zu arbeiten.						
UG (*N* = 127)	4,7%	31,5%	**44,9%**	15,7%	3,1%	
VG (*N* = 108)	4,6%	13,9%	**40,7%**	32,5%	8,3%	
Ich glaube ich werde immer Probleme im Umgang mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG) haben. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	21,3%	**51,2%**	26,0%	1,6%	--	
VG (*N* = 108)	21,3%	**42,6%**	21,3%	12,0%	2,8%	
Ich interessiere mich sehr für die Arbeit mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG).						
UG (*N* = 127)	3,9%	18,9%	**44,9%**	26,0%	5,5%	
VG (*N* = 108)	2,8%	8,3%	24,1%	**44,4%**	20,4%	
Den Umgang mit Luft- und Satellitenbildern (UG) bzw. Karten allgemein (VG) finde ich viel zu kompliziert. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	40,9%	**33,9%**	22,0%	3,1%	--	
VG (*N* = 108)	36,1%	**24,1%**	24,1%	11,1%	4,6%	

Anlage 3: Deskriptive Statistik zur Interessantheit der CM_{vorw}-Konstruktion

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Das Erstellen der Concept Map hat mir Spaß gemacht.						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	22,8%	**48,0%**	18,1%	9,4%	1,6%	
VG (*N* = 108)	15,7%	**46,3%**	28,7%	6,5%	2,8%	
Die Arbeit an der Concept Map hat mich so fasziniert, dass ich alles um mich herum vergessen habe.						
UG (*N* = 127)	2,4%	18,9%	26,0%	**39,4%**	13,4%	
VG (*N* = 108)	1,9%	13,9%	27,8%	**38,0%**	18,5%	
Das Erstellen der Concept Map fand ich langweilig. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	30,7%	**43,3%**	17,3%	6,3%	2,4%	
VG (*N* = 108)	25,0%	**43,5%**	22,2%	8,3%	0,9%	
Ich habe mir beim Erstellen der Concept Map große Mühe gegeben.						
UG (*N* = 127)	13,4%	**33,9%**	33,1%	7,1%	1,6%	
VG (*N* = 108)	13,0%	**46,3%**	33,3%	--	7,4%	

Anlage 4: Deskriptive Statistik zum Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Mir gefiel die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) sehr gut.						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	7,1%	32,3%	**40,2%**	14,2%	6,3%	
VG (*N* = 108)	2,7%	**41,7%**	36,1%	36,1%	5,6%	
Die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) hat Spaß gemacht.						
UG (*N* = 127)	7,1%	33,9%	**37,8%**	15,7%	5,5%	
VG (*N* = 108)	3,7%	16,7%	**35,2%**	33,3%	11,1%	
Ich empfand die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) als langweilig. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	13,4%	32,3%	**29,9%**	18,1%	6,3%	
VG (*N* = 108)	5,6%	17,6%	**31,5%**	37,0%	8,3%	
Die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) konnte meine Aufmerksamkeit überhaupt nicht binden. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	19,7%	**36,2%**	25,2%	13,4%	5,5%	
VG (*N* = 108)	11,1%	20,4%	**31,5%**	26,9%	10,2%	
Ich würde die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) als sehr interessant bezeichnen.						
UG (*N* = 127)	4,7%	29,1%	**44,1%**	17,3%	4,7%	
VG (*N* = 108)	3,7%	15,7%	**32,4%**	35,2%	13,0%	
Ich empfand die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) als ganz angenehm.						
UG (*N* = 127)	8,7%	**43,3%**	31,5%	14,2%	2,4%	
VG (*N* = 108)	5,6%	32,4%	**35,2%**	18,5%	8,3%	
Während der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) habe ich darüber nachgedacht, wie sehr mir das gefällt.						
UG (*N* = 127)	2,4%	11,8%	32,3%	**26,0%**	27,6%	
VG (*N* = 108)	1,9%	10,2%	13,9%	**36,1%**	38,0%	

Anlage 5: Deskriptive Statistik zur Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Ich habe mich bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) sehr angestrengt.						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	6,3%	39,4%	**37,8%**	12,6%	3,9%	
VG (*N* = 108)	4,6%	35,2%	**35,2%**	19,4%	5,6%	
Ich habe mich sehr bemüht, um bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) gut zu sein.						
UG (*N* = 127)	8,7%	38,6%	**37,0%**	11,8%	3,9%	
VG (*N* = 108)	4,6%	38,0%	**28,7%**	23,1%	5,6%	
Ich habe mich sehr bemüht bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG).						
UG (*N* = 127)	6,3%	42,5%	**33,9%**	15,0%	2,4%	
VG (*N* = 108)	4,6%	36,1%	**30,6%**	22,2%	6,5%	
Es war wichtig für mich, bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) gut zu sein.						
UG (*N* = 127)	4,7%	25,2%	**42,5%**	18,1%	9,4%	
VG (*N* = 108)	2,8%	18,5%	**38,9%**	29,6%	10,2%	
Ich habe sehr viel Energie in die Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) gesteckt.						
UG (*N* = 127)	2,4%	19,7%	**51,2%**	18,9%	7,9%	
VG (*N* = 108)	2,8%	23,1%	**28,7%**	30,6%	14,8%	

Anlage 6: Deskriptive Statistik zur wahrgenommenen Kompetenz bei der visuellen Auswertung

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Ich halte mich für ziemlich gut bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG).						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	3,9%	17,3%	**50,4%**	24,4%	3,9%	
VG (*N* = 108)	6,5%	14,8%	**39,8%**	29,6%	9,3%	
Ich denke, ich war ziemlich gut bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) im Vergleich zu anderen Schülern.						
UG (*N* = 127)	4,7%	11,8%	**53,5%**	22,0%	7,9%	
VG (*N* = 108)	6,5%	15,7%	**38,0%**	25,9%	13,9%	
Nach längerer Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) fühlte ich mich ziemlich kompetent.						
UG (*N* = 127)	3,9%	25,2%	**40,9%**	24,4%	5,5%	
VG (*N* = 108)	3,7%	22,2%	**31,5%**	36,1%	6,5%	
Ich bin mit meiner Leistung bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) zufrieden.						
UG (*N* = 127)	13,4%	36,2%	**32,3%**	16,5%	1,6%	
VG (*N* = 108)	10,2%	32,4%	**25,9%**	23,1%	8,3%	
Ich war ziemlich geschickt bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG).						
UG (*N* = 127)	3,9%	19,7%	**49,6%**	24,4%	2,4%	
VG (*N* = 108)	5,6%	16,7%	**38,0%**	30,6%	9,3%	
Das war eine Arbeit, die ich nicht sehr gut konnte. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	16,5%	**40,2%**	27,6%	12,6%	3,1%	
VG (*N* = 108)	17,6%	**40,7%**	17,6%	17,6%	6,5%	

Anlage 7: Deskriptive Statistik zu den Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung

TESTGRUPPEN	KENNWERTE					
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, überhaupt etwas auf dem Luftbild (UG) / der Grundkarte (VG) zu erkennen. (umgepolt)						
	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Teils, teils	Trifft eher nicht zu	Trifft überh. nicht zu	
UG (*N* = 127)	37,0%	**39,4%**	18,1%	3,9%	1,6%	
VG (*N* = 108)	23,1%	**41,7%**	27,8%	5,6%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, überhaupt etwas auf den Satellitenbildern (UG) / topographischen Karten (VG) zu erkennen. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	27,6%	**26,8%**	24,4%	18,1%	3,1%	
VG (*N* = 108)	25,0%	**47,2%**	17,6%	8,3%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, die Bilder (UG) / Karten (VG) miteinander zu vergleichen. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	22,8%	**39,4%**	29,1%	7,9%	0,8%	
VG (*N* = 108)	22,2%	**43,5%**	24,1%	8,3%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, Begriffe zum Thema Braunkohleabbau auf den Bildern (UG) / Karten (VG) zu sehen. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	16,5%	31,5%	**32,3%**	17,3%	2,4%	
VG (*N* = 108)	5,6%	37,0%	**30,6%**	25,0%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau auf den Bildern (UG) / Karten (VG) zu sehen. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	16,5%	**37,0%**	28,3%	15,7%	2,4%	
VG (*N* = 108)	9,3%	28,7%	**25,9%**	32,4%	3,7%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, Hinweise auf Begriffe zum Thema Braunkohleabbau auf den Bildern (UG) / Karten (VG) zu finden. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	14,2%	31,5%	**36,2%**	16,5%	1,6%	
VG (*N* = 108)	9,3%	26,9%	**38,0%**	24,1%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, Hinweise auf Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau auf den Bildern (UG) / Karten (VG) zu finden. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	11,0%	29,9%	**39,4%**	16,5%	3,1%	
VG (*N* = 108)	9,3%	25,0%	**38,0%**	25,9%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, sonstige Begriffe zum Thema Braunkohleabbau zu finden. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	11,0%	35,4%	**36,2%**	16,5%	0,8%	
VG (*N* = 108)	5,6%	33,3%	**38,9%**	20,4%	1,9%	
Bei der Arbeit mit den Bildern (UG) / Karten (VG) ist es mir schwer gefallen, sonstige Beziehungen innerhalb des Themas Braunkohleabbau zu finden. (umgepolt)						
UG (*N* = 127)	11,8%	**39,4%**	33,1%	15,0%	0,8%	
VG (*N* = 108)	12,0%	26,9%	**34,3%**	25,0%	1,9%	

Anlage 8: Ergebnisse der Untersuchung zum potenziellen Einfluss der Störvariable Klasse

UG: K-Wert$_{D\text{-}ELE}$	Kl.	UG: K-Wert$_{D\text{-}PRO}$								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	--	-1,350 [-7,777; 5,077] *p* = 0,388	0,686 [-2,447; 3,818] *p* = 0,411	1,200 [-1,857; 4,257] *p* = 0,136	0,317 [-2,754; 3,388] *p* = 0,687	1,233 [-1,817; 4,284] *p* = 0,114	0,178 [-3,199; 3,555] *p* = 0,843	-0,100 [-9,567; 9,367] *p* = 0,947	-1,183 [-4,772; 2,405] *p* = 0,236
	2	-0,100 [-6,618; 6,418] *p* = 0,954	--	2,036 [-4,481; 8,553] *p* = 0,184	2,550 [-4,064; 9,164] *p* = 0,102	1,667 [-4,945; 8,278] *p* = 0,267	2,583 [-4,106; 9,273] *p* = 0,096	1,528 [-4,931; 7,986] *p* = 0,318	1,250 [-7,225; 9,725] *p* = 0,515	0,167 [-6,234; 6,567] *p* = 0,914
	3	2,471 [-3,998; 8,941] *p* = 0,174	2,571 [-3,540; 8,683] *p* = 0,132	--	0,514 [-1,450; 2,528] *p* = 0,360	-0,369 [-2,432; 1,694] *p* = 0,524	0,548 [-1,339; 2,434] *p* = 0,286	-0,508 [-3,239; 2,223] *p* = 0,488	-0,786 [-12,112; 10,541] *p* = 0,592	-1,869 [-4,922;1,184] *p* = 0,034*
	4	3,200 [-3,200; 9,600] *p* = 0,075	3,300 [-2,770; 9,370] *p* = 0,052	0,729 [-5,258; 6,716] *p* = 0,661	--	-0,883 [-2,672; 0,905] *p* = 0,082	0,033 [-1,535; 1,601] *p* = 0,934	-1,022 [-3,649; 1,604] *p* = 0,139	-1,300 [-13,992; 11,392] *p* = 0,386	-2,383 [-5,336; 0,569] *p* = 0,007**
	5	1,317 [-6,942; 9,575] *p* = 0,559	1,417 [-6,649; 9,482] *p* = 0,513	-1,155 [-9,206; 6,896] *p* = 0,601	-1,883 [-9,882; 6,115] *p* = 0,386	--	0,917 [-0,715; 2,549] *p* = 0,045*	-0,139 [-2,787; 2,509] *p* = 0,838	-0,417 [-12,782; 11,948] *p* = 0,770	-1,500 [-4,474; 1,474] *p* = 0,070
	6	0,900 [-5,956; 7,756] *p* = 0,607	1,000 [-5,644; 7,644] *p* = 0,541	-1,571 [-8,046; 4,903] *p* = 0,358	-2,300 [-8,771; 4,171] *p* = 0,172	-0,417 [-8,653; 7,820] *p* = 0,848	--	-1,056 [-3,671; 1,560] *p* = 0,111	-1,333 [-15,120; 12,453] *p* = 0,373	-2,417 [-5,339; 0,505] *p* = 0,005**
	7	1,789 [-7,895; 11,473] *p* = 0,472	1,889 [-7,723; 11,501] *p* = 0,433	-0,683 [-10,229; 8,864] *p* = 0,778	-1,411 [-10,980; 8,157] *p* = 0,556	0,472 [-9,877; 10,821] *p* = 0,865	0,889 [-8,840; 10,618] *p* = 0,711	--	-0,278 [-10,608; 10,052] *p* = 0,851	-1,361 [-4,678; 1,956] *p* = 0,142
	8	0,650 [-7,775; 9,075] *p* = 0,732	0,750 [-7,828; 9,328] *p* = 0,676	-1,821 [-10,035; 6,392] *p* = 0,335	-2,550 [-10,995; 5,895] *p* = 0,180	-0,667 [-9,782; 8,449] *p* = 0,770	-0,250 [-9,158; 8,658] *p* = 0,890	-1,139 [-11,475; 9,197] *p* = 0,650	--	-1,083 [-10,463; 8,296] *p* = 0,487
	9	1,817 [-3,966; 7,599] *p* = 0,233	1,917 [-3,456; 7,289] *p* = 0,169	-0,655 [-5,798; 4,489] *p* = 0,643	-1,383 [-6,481; 3,714] *p* = 0,308	0,500 [-7,175; 8,175] *p* = 0,800	0,917 [-5,179; 7,012] *p* = 0,511	0,028 [-9,484; 9,540] *p* = 0,990	1,167 [-8,661; 10,994] *p* = 0,471	--

		UG: S-Wert$_{D\text{-}PRO}$								
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
UG: S-Wert$_{D\text{-}BEZ}$	**1**	--	-5,750 [-24,774; 13,274] *p* = 0,198	6,143 [-2,540; 14,826] *p* = 0,017*	7,000 [-0,860; 14,860] *p* = 0,004**	6,500 [-6,186; 19,186] *p* = 0,064	1,000 [-20,632; 22,632] *p* = 0,811	3,889 [-8,447; 16,225] *p* = 0,216	-1,000 [-75,738; 73,738] *p* = 0,897	4,167 [-3,806; 12,140] *p* = 0,067
	2	0,700 [-12,337; 13,737] *p* = 0,835	--	11,893 [-6,795; 30,581] *p* = 0,020*	12,750 [-6,142; 31,642] *p* = 0,014*	12,250 [-7,142; 31,642] *p* = 0,025*	6,750 [-15,802; 29,302] *p* = 0,238	9,639 [-9,626; 28,904] *p* = 0,062	4,750 [-46,959; 56,459] *p* = 0,579	9,917 [-8,873; 28,707] *p* = 0,042*
	3	4,629 [-5,020; 14,277] *p* = 0,086	3,929 [-8,382; 16,239] *p* = 0,208	--	0,857 [-8,281; 9,995] *p* = 0,735	0,357 [-12,791; 13,505] *p* = 0,921	-5,143 [-25,605; 15,319] *p* = 0,261	-2,254 [-14,924; 10,416] *p* = 0,503	-7,143 [-75,488; 61,202] *p* = 0,389	-1,976 [-11,207; 7,254] *p* = 0,447
	4	6,400 [-2,885; 15,685] *p* = 0,014*	5,700 [-6,880; 18,280] *p* = 0,065	1,771 [-4,370; 7,913] *p* = 0,295	--	-0,500 [-13,353; 12,353] *p* = 0,883	-6,000 [-27,077; 15,077] *p* = 0,187	-3,111 [-15,548; 9,326] *p* = 0,331	-8,000 [-80,061; 64,061] *p* = 0,339	-2,833 [-11,331; 5,664] *p* = 0,231
	5	4,867 [-5,033; 14,766] *p* = 0,080	4,167 [-8,261; 16,594] *p* = 0,193	0,238 [-7,613; 8,089] *p* = 0,914	-1,533 [-8,422 5,355] *p* = 0,401	--	-5,500 [-25,714; 14,714] *p* = 0,275	-2,611 [-17,463; 12,241] *p* = 0,519	-7,500 [-65,519; 50,519] *p* = 0,378	-2,333 [-15,221; 10,554] *p* = 0,501
	6	4,200 [-7,781; 16,181] *p* = 0,178	3,500 [-10,180; 17,180] *p* = 0,311	-0,429 [-11,535; 10,678] *p* = 0,870	-2,200 [-14,176; 9,776] *p* = 0,359	-0,667 [-11,869; 10,536 *p* = 0,805	--	2,889 [-17,464; 23,242] *p* = 0,546	-2,000 [-54,928; 50,928] *p* = 0,812	3,167 [-17,691; 24,024] *p* = 0,468
	7	3,756 [-6,646; 14,157] *p* = 0,187	3,056 [-9,622; 15,733] *p* = 0,345	-0,873 [-9,580; 7,834] *p* = 0,709	-2,644 [-10,840; 5,551] *p* = 0,198	-1,111 [-10,142; 7,920] *p* = 0,648	-0,444 [-12,029; 11,140] *p* = 0,874	--	-4,889 [-65,396; 55,619] *p* = 0,550	0,278 [-12,191; 12,747] *p* = 0,931
	8	3,200 [-8,586; 14,986] *p* = 0,268	2,500 [-11,127; 16,127] *p* = 0,442	-1,429 [-12,643; 9,786] *p* = 0,553	-3,200 [-17,919; 11,519] *p* = 0,171	-1,667 [-12,874; 9,541] *p* = 0,506	-1,000 [-14,185; 12,185] *p* = 0,725	-0,556 [-12,129; 11,018] *p* = 0,830	--	5,167 [-66,266; 76,599] *p* = 0,519
	9	2,033 [-7,706; 11,773] *p* = 0,437	1,333 [-11,037; 13,703] *p* = 0,661	-2,595 [-10,123; 4,932] *p* = 0,225	-4,367 [-10,801; 2,068] *p* = 0,019*	-2,833 [-10,831; 5,164] *p* = 0,209	-2,167 [-13,318; 8,985] *p* = 0,418	-1,722 [-10,546; 7,102] *p* = 0,467	-1,167 [-12,462; 10,128] *p* = 0,629	--

		UG: CM-GU$_D$								
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
UG: CM-SRG$_D$	**1**	--	-1,300 [-13,324; 10,724] *p* = 0,660	4,486 [-3,225; 12,196] *p* = 0,044*	6,800 [-0,741; 14,341] *p* = 0,003**	3,783 [-5,980; 13,547] *p* = 0,163	2,367 [-6,675; 11,408] *p* = 0,302	4,089 [-4,525; 12,702] *p* = 0,087	2,450 [-20,682; 25,582] *p* = 0,499	2,117 [-4,867; 9,100] *p* = 0,265
	2	-23,075 [-84,585; 38,435] *p* = 0,167	--	5,786 [-6,137; 17,708] *p* = 0,068	8,100 [-3,831; 20,031] *p* = 0,015*	5,083 [-7,574; 17,741] *p* = 0,141	3,667 [-8,767; 16,100] *p* = 0,240	5,389 [-6,842; 17,620] *p* = 0,096	3,750 [-15,815; 23,315] *p* = 0,366	3,417 [-8,474; 15,307] *p* = 0,236
	3	-6,557 [-61,336; 48,222] *p* = 0,657	16,518 [-37,452; 70,488] *p* = 0,252	--	2,314 [-5,019; 9,648] *p* = 0,261	-0,702 [-10,367; 8,962] *p* = 0,791	-2,119 [-10,980; 6,742] *p* = 0,353	-0,397 [-8,849; 8,056] *p* = 0,862	-2,036 [-25,009; 20,937] *p* = 0,571	-2,369 [-9,071; 4,333] *p* = 0,212
	4	-23,000 [-80,094; 34,094] *p* = 0,144	0,075 [-56,425; 56,575] *p* = 0,996	-16,443 [-63,863; 30,977] *p* = 0,215	--	-3,017 [-12,582; 6,548] *p* = 0,249	-4,433 [-13,286; 4,419] *p* = 0,059	-2,711 [-11,065; 5,642] *p* = 0,227	-4,350 [-28,448; 19,748] *p* = 0,251	-4,683 [-11,201; 1,834] *p* = 0,014*
	5	-17,617 [-69,934; 34,701] *p* = 0,197	5,458 [-46,631; 57,548] *p* = 0,664	-11,060 [-48,808; 26,688] *p* = 0,296	5,383 [-37,923; 48,690] *p* = 0,633	--	-1,417 [-11,813; 8,980] *p* = 0,606	0,306 [-9,902; 10,513] *p* = 0,912	-1,333 [-20,990; 18,323] *p* = 0,729	-1,667 [-10,922; 7,589] *p* = 0,499
	6	-9,867 [-109,647; 89,914] *p* = 0,663	13,208 [-87,559; 113,976] *p* = 0,555	-3,310 [-104,726; 98,107] *p* = 0,876	13,133 [-88,042; 114,308] *p* = 0,546	7,750 [-100,777; 116,277] *p* = 0,703	--	1,722 [-7,857; 11,301] *p* = 0,475	0,083 [-22,646; 22,813] *p* = 0,981	-0,250 [-8,882; 8,382] *p* = 0,901
	7	3,078 [-54,771; 60,926] *p* = 0,841	26,153 [-31,000; 83,306] *p* = 0,092	9,635 [-38,765; 58,035] *p* = 0,465	26,078 [-25,367; 77,522] *p* = 0,070	20,694 [-24,123; 65,512] *p* = 0,085	12,944 [-88,259; 114,147] *p* = 0,553	--	-1,639 [-23,562; 20,284] *p* = 0,653	-1,972 [-9,932; 5,988] *p* = 0,343
	8	-11,700 [-130,182; 106,782] *p* = 0,598	11,375 [-112,466; 135,216] *p* = 0,603	-5,143 [-140,151; 129,866] *p* = 0,804	11,300 [-118,206; 140,806] *p* = 0,595	5,917 [-155,938; 167,771] *p* = 0,765	-1,833 [-125,448; 121,781] *p* = 0,944	-14,778 [-144,095; 114,539] *p* = 0,493	--	-0,333 [-26,649; 25,982] *p* = 0,922
	9	13,717 [-40,765; 68,198] *p* = 0,350	36,792 [-17,054; 90,638] *p* = 0,017*	20,274 [-22,701; 63,249] *p* = 0,102	36,717 [-10,271; 83,704] *p* = 0,009**	31,333 [-5,757; 68,423] *p* = 0,005**	23,583 [-78,834; 126,001] *p* = 0,282	10,639 [-37,321; 58,599] *p* = 0,411	25,417 [-113,079; 163,913] *p* = 0,253	--

		UG: CM-SP_D								
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
UG: CM-TS_D (γ = 0,05)	**1**	--	7,300 [-74,688; 89,288] *p* = 0,728	33,800 [-22,743; 90,343] *p* = 0,033*	39,900 [-16,042; 95,84] *p* = 0,013*	29,800 [-40,863; 100,463] *p* = 0,134	3,467 [-60,710; 67,644] *p* = 0,833	22,022 [-36,848; 80,893] *p* = 0,167	-26,450 [-173,049; 120,149] *p* = 0,321	-7,283 [-69,882; 55,316] *p* = 0,669
	2	0,146 [-0,349; 0,641] *p* = 0,302	--	26,500 [-52,171; 105,171] *p* = 0,170	32,600 [-46,893; 112,093] *p* = 0,094	22,500 [-61,584; 106,584] *p* = 0,317	-3,833 [-85,119; 77,452] *p* = 0,846	14,722 [-64,084; 93,528] *p* = 0,443	-33,750 [-169,505; 102,005] *p* = 0,243	-14,583 [-94,516; 65,350] *p* = 0,475
	3	0,013 [-0,453; 0,478] *p* = 0,924	-0,133 [-0,522; 0,256] *p* = 0,230	--	6,100 [-27,760; 39,960] *p* = 0,517	-4,000 [-65,916; 57,916] *p* = 0,807	-30,333 [-84,196; 23,529] *p* = 0,035*	-11,778 [-54,382; 30,826] *p* = 0,311	-60,250 [-244,583; 124,083] *p* = 0,055	-41,083 [-90,862; 8,695] *p* = 0,006**
	4	0,063 [-0,371; 0,496] *p* = 0,580	-0,083 [-0,436; 0,270] *p* = 0,339	0,050 [-0,208; 0,308] *p* = 0,479	--	-10,100 [-71,478; 51,278] *p* = 0,525	-36,433 [-91,427; 18,560] *p* = 0,014*	-17,878 [-59,083; 23,327] *p* = 0,107	-66,350 [-268,855; 136,155] *p* = 0,044*	-47,183 [-95,705; 1,338] *p* = 0,002**
	5	0,007 [-0,445; 0,459] *p* = 0,956	-0,139 [-0,509; 0,231] *p* = 0,181	-0,006 [-0,312; 0,301] *p* = 0,950	-0,056 [-0,267; 0,156] *p* = 0,331	--	-26,333 [-94,472; 41,805] *p* = 0,155	-7,778 [-71,611; 56,055] *p* = 0,649	-56,250 [-193,621; 81,121] *p* = 0,066	-37,083 [-104,379; 30,212] *p* = 0,055
	6	0,313 [-0,886; 1,511] *p* = 0,280	0,167 [-1,056; 1,389] *p* = 0,544	0,300 [-0,930; 1,530] *p* = 0,280	0,250 [-1,015; 1,515] *p* = 0,351	0,306 [-0,938; 1,549] *p* = 0,268	--	18,556 [-37,718; 74,829] *p* = 0,192	-29,917 [-192,992; 133,159] *p* = 0,258	-10,750 [-70,416; 48,916] *p* = 0,489
	7	0,063 [-0,501; 0,626] *p* = 0,696	-0,083 [-0,598; 0,431] *p* = 0,560	0,050 [-0,439; 0,539] *p* = 0,710	0,000 [-0,469; 0,469] *p* = 1,000	0,056 [-0,420; 0,532] *p* = 0,665	-0,250 [-1,451; 0,951] *p* = 0,384	--	-48,472 [-221,873; 124,928] *p* = 0,095	-29,306 [-82,318; 23,707] *p* = 0,053
	8	0,063 [-0,371; 0,496] *p* = 0,580	-0,083 [-0,436; 0,270] *p* = 0,339	0,050 [-0,208; 0,308] *p* = 0,479	0,000 [k.A.] *p* = k.A.	0,056 [-0,156; 0,267] *p* = 0,331	-0,250 [-1,515; 1,015] *p* = 0,351	0,000 [-0,469; 0,469] *p* = 1,000	--	19,167 [-133,557; 171,890] *p* = 0,453
	9	0,174 [-0,683; 1,030] *p* = 0,475	0,028 [-0,806; 0,862] *p* = 0,904	0,161 [-0,662; 0,984] *p* = 0,478	0,111 [-0,698; 0,920] *p* = 0,607	0,167 [-0,650; 0,984] *p* = 0,457	-0,139 [-1,388; 1,110] *p* = 0,677	0,111 [-0,750; 0,973] *p* = 0,648	0,111 [-0,698; 0,920] *p* = 0,607	--

		UG: CM-KPG$_D$								
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
UG: CM-VNI$_D$	**1**	--	-0,870 [-12,795; 11,055] *p* = 0,761	4,420 [-2,607; 11,447] *p* = 0,031*	6,183 [-0,341; 12,707] *p* = 0,002**	3,423 [-6,415; 13,262] *p* = 0,203	2,997 [-6,735; 12,728] *p* = 0,207	3,683 [-7,185; 14,550] *p* = 0,190	2,738 [-12,634; 18,109] *p* = 0,321	3,469 [-2,459; 9,397] *p* = 0,039*
	2	17,750 [-31,251; 66,751] *p* = 0,182	--	5,290 [-6,627; 17,207] *p* = 0,090	7,053 [-4,892; 18,998] *p* = 0,028*	4,293 [-8,583; 17,169] *p* = 0,218	3,867 [-8,892; 16,625] *p* = 0,233	4,553 [-8,826; 17,932] *p* = 0,201	3,608 [-11,137; 18,352] *p* = 0,299	4,339 [-7,740; 16,418] *p* = 0,134
	3	11,286 [-32,380; 54,951] *p* = 0,336	-6,464 [-48,101; 35,172] *p* = 0,548	--	1,763 [-5,033; 8,559] *p* = 0,353	-0,997 [-10,970; 8,976] *p* = 0,713	-1,423 [-11,120; 8,273] *p* = 0,551	-0,737 [-11,638; 10,164] *p* = 0,792	-1,683 [-15,999; 12,634] *p* = 0,540	-0,951 [-7,161; 5,259] *p* = 0,580
	4	1,300 [-41,178; 43,778] *p* = 0,901	-16,450 [-57,123; 24,223] *p* = 0,108	-9,986 [-37,152; 17,181] *p* = 0,190	--	-2,760 [-12,514; 6,994] *p* = 0,293	-3,186 [-12,932; 6,559] *p* = 0,174	-2,500 [-13,324; 8,324] *p* = 0,357	-3,446 [-19,319; 12,428] *p* = 0,219	-2,714 [-8,284; 2,856] *p* = 0,082
	5	1,917 [-40,715; 44,548] *p* = 0,859	-15,833 [-56,446; 24,780] *p* = 0,128	-9,369 [-37,624; 18,886] *p* = 0,241	0,617 [-21,804; 23,037] *p* = 0,920	--	-0,427 [-11,670; 10,816] *p* = 0,885	0,259 [-11,929; 12,448] *p* = 0,937	-0,686 [-14,287; 12,916] *p* = 0,830	0,046 [-9,534; 9,626] *p* = 0,985
	6	5,667 [-37,989; 49,323] *p* = 0,608	-12,083 [-53,960; 29,793] *p* = 0,247	-5,619 [-36,496; 25,258] *p* = 0,496	4,367 [-23,169; 31,903] *p* = 0,511	3,750 [-24,311; 31,811] *p* = 0,596	--	0,686 [-11,273; 12,646] *p* = 0,820	-0,259 [-14,785; 14,267] *p* = 0,929	0,473 [-9,454; 10,399] *p* = 0,821
	7	-1,722 [-49,207; 45,762] *p* = 0,892	-19,472 [-65,318; 26,374] *p* = 0,116	-13,008 [-51,914; 25,898] *p* = 0,219	-3,022 [-40,367; 34,323] *p* = 0,741	-3,639 [-41,119; 33,841] *p* = 0,702	-7,389 [-46,461; 31,683] *p* = 0,453	--	-0,945 [-15,131; 13,240] *p* = 0,772	-0,214 [-10,984; 10,557] *p* = 0,933
	8	-12,000 [-55,048; 31,048] *p* = 0,265	-29,750 [-71,491; 11,991] *p* = 0,010**	-23,286 [-51,842; 5,270] *p* = 0,006**	-13,300 [-37,780; 11,180] *p* = 0,036*	-13,917 [-39,005; 11,172] *p* = 0,039*	-17,667 [-48,129; 12,796] *p* = 0,024*	-10,278 [-48,431; 27,876] *p* = 0,274	--	0,732 [-17,269; 18,732] *p* = 0,768
	9	4,417 [-38,974; 47,808] *p* = 0,696	-13,333 [-54,525; 27,858] *p* = 0,214	-6,869 [-37,418; 23,680] *p* = 0,426	3,117 [-22,758; 28,991] *p* = 0,657	2,500 [-24,492; 29,492] *p* = 0,737	-1,250 [-31,358; 28,858] *p* = 0,873	6,139 [-32,314; 44,592] *p* = 0,543	16,417 [-11,243; 44,076] *p* = 0,032*	--

		VG: K-Wert$_{D\text{-}PRO}$							
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VG: K-Wert$_{D\text{-}ELE}$	**1**	--	-1,095 [-4,541; 2,350] *p* = 0,229	0,110 [-2,182; 2,401] *p* = 0,855	-1,012 [-3,785; 1,761] *p* = 0,205	-0,540 [-3,402; 2,323] *p* = 0,493	-0,651 [-3,301; 2,000] *p* = 0,375	-0,762 [-4,401; 2,877] *p* = 0,413	-0,804 [-4,577; 2,969] *p* = 0,424
	2	0,524 [-6,920; 7,968] *p* = 0,787	--	1,205 [-2,133; 4,543] *p* = 0,158	0,083 [-3,399; 3,565] *p* = 0,928	0,556 [-2,985; 4,096] *p* = 0,553	0,444 [-2,986; 3,874] *p* = 0,617	0,333 [-3,713; 4,380] *p* = 0,749	0,292 [-3,860; 4,443] *p* = 0,792
	3	3,473 [-3,583; 10,528] *p* = 0,082	2,949 [-2,804; 8,701] *p* = 0,075	--	-1,122 [-3,539; 1,296] *p* = 0,113	-0,650 [-3,193; 1,894] *p* = 0,352	-0,761 [-3,010; 1,489] *p* = 0,229	-0,872 [-4,440; 2,697] *p* = 0,316	-0,913 [-4,557; 2,730] *p* = 0,333
	4	2,107 [-4,826; 9,040] *p* = 0,250	1,583 [-3,952; 7,117] *p* = 0,283	-1,365 [-5,910; 3,179] *p* = 0,306	--	0,472 [-2,494; 3,438] *p* = 0,577	0,361 [-2,406; 3,128] *p* = 0,648	0,250 [-3,421; 3,921] *p* = 0,796	0,208 [-3,616; 4,033] *p* = 0,841
	5	3,302 [-3,623; 10,227] *p* = 0,081	2,778 [-2,706; 8,262] *p* = 0,067	-0,171 [-4,530; 4,188] *p* = 0,891	1,194 [-2,626; 5,015] *p* = 0,280	--	-0,111 [-2,957; 2,735] *p* = 0,888	-0,222 [-3,941; 3,496] *p* = 0,819	-0,264 [-4,122; 3,594] *p* = 0,800
	6	-0,365 [-7,801; 7,071] *p* = 0,855	-0,889 [-7,251; 5,473] *p* = 0,606	-3,838 [-9,612; 1,937] *p* = 0,028*	-2,472 [-7,980; 3,035] *p* = 0,118	-3,667 [-9,068; 1,735] *p* = 0,023*	--	-0,111 [-3,734; 3,512] *p* = 0,904	-0,153 [-3,912; 3,607] *p* = 0,878
	7	3,190 [-3,788; 10,169] *p* = 0,092	2,667 [-2,934; 8,268] *p* = 0,081	-0,282 [-4,821; 4,257] *p* = 0,825	1,083 [-2,993; 5,160] *p* = 0,342	-0,111 [-4,006; 3,784] *p* = 0,915	3,556 [-1,956; 9,067] *p* = 0,030*	--	-0,042 [-4,312; 4,228] *p* = 0,971
	8	2,607 [-4,406; 9,621] *p* = 0,167	2,083 [-3,599; 7,766] *p* = 0,175	-0,865 [-5,631; 3,900] *p* = 0,526	0,500 [-3,834; 4,834] *p* = 0,681	-0,694 [-4,867; 3,479] *p* = 0,544	2,972 [-2,687; 8,631] *p* = 0,070	-0,583 [-4,965; 3,798] *p* = 0,619	--

		VG: S-Wert$_{D\text{-}PRO}$							
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VG: S-Wert$_{D\text{-}ELE}$	**1**	--	-5,810 [-15,187; 3,568] *p* = 0,031*	1,626 [-4,649; 7,902] *p* = 0,362	-2,810 [-9,301; 3,682] *p* = 0,136	0,190 [-10,830; 11,211] *p* = 0,947	-8,921 [-22,601; 4,759] *p* = 0,026*	-1,143 [-22,156; 19,870] *p* = 0,805	-0,643 [-11,233; 9,948] *p* = 0,814
	2	0,286 [-17,660; 18,231] *p* = 0,947	--	7,436 [-1,833; 16,705] *p* = 0,009**	3,000 [-6,342; 12,342] *p* = 0,229	6,000 [-6,100; 18,100] *p* = 0,084	-3,111 [-17,428; 11,205] *p* = 0,423	4,667 [-16,030; 25,363] *p* = 0,351	5,167 [-6,564; 16,897] *p* = 0,117
	3	5,363 [-12,564; 23,289] *p* = 0,230	5,077 [-2,150; 12,304] *p* = 0,020*	--	-4,436 [-10,863; 1,991] *p* = 0,025*	-1,436 [-12,411; 9,540] *p* = 0,625	-10,547 [-24,219; 3,125] *p* = 0,012*	-2,769 [-23,697; 18,159] *p* = 0,556	-2,269 [-12,831; 8,293] *p* = 0,419
	4	2,369 [-15,465; 20,203] *p* = 0,593	2,083 [-6,145; 10,312] *p* = 0,367	-2,994 [-10,425; 4,438] *p* = 0,171	--	3,000 [-8,037; 14,037] *p* = 0,320	-6,111 [-19,818; 7,596] *p* = 0,108	1,667 [-19,206; 22,540] *p* = 0,722	2,167 [-8,443; 12,776] *p* = 0,445
	5	5,175 [-12,928; 23,278] *p* = 0,238	4,889 [-2,082; 11,859] *p* = 0,018*	-0,188 [-5,344; 4,968] *p* = 0,898	2,806 [-4,126; 9,737] *p* = 0,157	--	-9,111 [-24,233; 6,011] *p* = 0,043*	-1,333 [-21,957; 19,290] *p* = 0,795	-0,833 [-13,730; 12,063] *p* = 0,815
	6	2,952 [-14,936; 20,840] *p* = 0,504	2,667 [-5,446; 10,780] *p* = 0,235	-2,410 [-9,660; 4,839] *p* = 0,245	0,583 [-7,720; 8,887] *p* = 0,805	-2,222 [-9,023; 4,578] *p* = 0,232	--	7,778 [-13,409; 28,965] *p* = 0,175	8,278 [-6,622; 23,178] *p* = 0,058
	7	2,619 [-15,326; 20,564] *p* = 0,548	2,333 [-5,870; 10,537] *p* = 0,283	-2,744 [-10,058; 4,571] *p* = 0,176	0,250 [-8,043; 8,543] *p* = 0,913	-2,556 [-9,635; 4,524] *p* = 0,163	-0,333 [-8,512; 7,845] *p* = 0,880	--	0,500 [-20,144; 21,144] *p* = 0,921
	8	3,286 [-14,626; 21,197] *p* = 0,470	3,000 [-6,187; 12,187] *p* = 0,234	-2,077 [-10,675; 6,521] *p* = 0,377	0,917 [-8,412; 10,246] *p* = 0,726	-1,889 [-10,254; 6,476] *p* = 0,383	0,333 [-8,902; 9,568] *p* = 0,895	0,667 [-8,567; 9,901] *p* = 0,786	--

		VG: CM-GU$_D$							
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VG: CM-SRG$_D$	**1**	--	-2,429 [-13,064; 8,206] *p* = 0,359	4,341 [-6,327; 15,009] *p* = 0,137	1,489 [-9,076; 12,052] *p* = 0,579	3,127 [-7,468; 13,722] *p* = 0,247	-1,762 [-12,683; 9,159] *p* = 0,541	0,238 [-12,772; 13,248] *p* = 0,944	2,946 [-7,875; 13,768] *p* = 0,305
	2	26,024 [-29,712; 81,759] *p* = 0,090	--	6,769 [0,752; 12,787] *p* = 0,001***	3,917 [-1,525; 9,358] *p* = 0,018*	5,556 [0,446; 10,665] *p* = 0,001***	0,667 [-6,292; 7,625] *p* = 0,721	2,667 [-8,927; 14,261] *p* = 0,334	5,375 [-1,288; 12,038] *p* = 0,009**
	3	24,319 [-13,635; 62,273] *p* = 0,031*	-1,705 [-55,599; 52,188] *p* = 0,897	--	-2,853 [-9,138; 3,433] *p* = 0,128	-1,214 [-7,193; 4,766] *p* = 0,481	-6,103 [-13,584; 1,379] *p* = 0,009**	-4,103 [-15,527; 7,322] *p* = 0,172	-1,394 [-8,584; 5,796] *p* = 0,494
	4	36,440 [-2,271; 75,152] *p* = 0,003**	10,417 [-43,525; 64,358] *p* = 0,445	12,122 [-19,212; 43,456] *p* = 0,192	--	1,639 [-3,735; 7,012] *p* = 0,292	-3,250 [-10,367; 3,867] *p* = 0,115	-1,250 [-12,703; 10,203] *p* = 0,650	1,458 [-5,352; 8,269] *p* = 0,443
	5	21,746 [-23,758; 67,250] *p* = 0,096	-4,278 [-61,160; 52,604] *p* = 0,774	-2,573 [-43,606; 38,461] *p* = 0,820	-14,694 [-56,351; 26,962] *p* = 0,215	--	-4,889 [-11,817; 2,039] *p* = 0,020*	-2,889 [-14,427; 8,649] *p* = 0,299	-0,181 [-6,781; 6,420] *p* = 0,919
	6	3,190 [-34,556; 40,937] *p* = 0,749	-22,833 [-76,992; 31,325] *p* = 0,108	-21,128 [-50,487; 8,231] *p* = 0,019	-33,250 [-63,946; -2,554] *p* = 0,001***	-18,556 [-59,287; 22,175] *p* = 0,109	--	2,000 [-9,584; 13,584] *p* = 0,500	4,708 [-3,130; 12,546] *p* = 0,043*
	7	48,024 [-1,316; 97,364] *p* = 0,003**	22,000 [-37,101; 81,101] *p* = 0,167	23,705 [-22,343; 69,753] *p* = 0,065	11,583 [-34,845; 58,011] *p* = 0,342	26,278 [-24,559; 77,114] *p* = 0,071	44,833 [-1,386; 91,052] *p* = 0,003**	--	2,708 [-8,848; 14,265] *p* = 0,357
	8	21,857 [-32,180; 75,894] *p* = 0,147	-4,167 [-66,343; 58,009] *p* = 0,801	-2,462 [-54,030; 49,107] *p* = 0,855	-14,583 [-66,426; 37,259] *p* = 0,298	0,111 [-55,514; 55,736] *p* = 0,994	18,667 [-32,767; 70,101] *p* = 0,179	-26,167 [-83,889; 31,556] *p* = 0,108	--

VG: CM-TS$_D$ (γ = 0,05)	Kl.	VG: CM-SP$_D$							
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
	1	--	-25,881 [-131,666; 79,904] *p* = 0,354	19,286 [-80,969; 119,541] *p* = 0,439	-1,131 [-101,294; 99,032] *p* = 0,963	22,952 [-78,735; 124,640] *p* = 0,341	-13,381 [-117,655; 90,893] *p* = 0,628	21,786 [-79,292; 122,863] *p* = 0,371	21,536 [-80,053; 123,124] *p* = 0,371
	2		--	45,167 [-27,811; 118,145] *p* = 0,031*	24,750 [-48,480; 97,980] *p* = 0,201	48,833 [-25,998; 123,665] *p* = 0,022*	12,500 [-70,265; 95,265] *p* = 0,576	47,667 [-26,341; 121,675] *p* = 0,024*	47,417 [-27,239; 122,073] *p* = 0,025*
	3			--	-20,417 [-65,963; 25,130] *p* = 0,133	3,667 [-32,037; 39,370] *p* = 0,715	-32,667 [-100,256; 34,922] *p* = 0,091	2,500 [-36,403; 41,403] *p* = 0,819	2,250 [-33,823; 38,323] *p* = 0,825
	4				--	24,083 [-14,660; 62,826] *p* = 0,037*	-12,250 [-80,649; 56,149] *p* = 0,514	22,917 [-18,487; 64,320] *p* = 0,061	22,667 [-16,364; 61,697] *p* = 0,050*
	5	Keine Bestimmung möglich bei γ = 0,05, γ = 0,10 bzw. γ = 0,20				--	-36,333 [-102,031; 29,365] *p* = 0,050*	-1,167 [-31,130; 28,796] *p* = 0,879	-1,417 [-24,739; 21,905] *p* = 0,826
	6						--	35,167 [-31,183; 101,516] *p* = 0,061	34,917 [-30,838; 100,671] *p* = 0,059
	7							--	-0,250 [-30,691; 30,191] *p* = 0,975
	8								--

		VG: CM-KPG$_D$							
	Kl.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VG: CM-VNI$_D$	**1**	--	0,737 [-9,668; 11,142] *p* = 0,768	4,791 [-5,568; 15,150] *p* = 0,084	1,731 [-8,632; 12,095] *p* = 0,495	4,150 [-6,216; 14,515] *p* = 0,134	-1,909 [-12,403; 8,584] *p* = 0,485	1,982 [-10,366; 14,330] *p* = 0,543	1,460 [-8,942; 11,861] *p* = 0,581
	2	7,952 [-26,325; 42,230] *p* = 0,383	--	4,054 [-0,323; 8,431] *p* = 0,004**	0,994 [-3,386; 5,374] *p* = 0,412	3,413 [-1,731; 8,557] *p* = 0,026*	-2,646 [-8,617; 3,325] *p* = 0,116	1,245 [-9,491; 11,981] *p* = 0,613	0,723 [-4,766; 6,211] *p* = 0,621
	3	5,132 [-23,697; 33,960] *p* = 0,506	-2,821 [-32,924; 27,283] *p* = 0,716	--	-3,060 [-7,268; 1,149] *p* = 0,019*	-0,641 [-5,669; 4,387] *p* = 0,651	-6,700 [-12,608; -0,792] *p* = 0,001***	-2,809 [-13,472; 7,854] *p* = 0,275	-3,331 [-8,722; 2,060] *p* = 0,037*
	4	-11,131 [-41,081; 18,819] *p* = 0,186	-19,083 [-50,053; 11,887] *p* = 0,035*	-16,263 [-39,368; 6,842] *p* = 0,022*	--	2,419 [-2,605; 7,442] *p* = 0,099	-3,640 [-9,547; 2,267] *p* = 0,038*	0,251 [-10,422; 10,924] *p* = 0,918	-0,271 [-5,661; 5,119] *p* = 0,854
	5	-1,159 [-30,977; 28,660] *p* = 0,884	-9,111 [-40,099; 21,877] *p* = 0,271	-6,291 [-29,148; 16,567] *p* = 0,338	9,972 [-14,800; 34,745] *p* = 0,168	--	-6,059 [-12,389; 0,271] *p* = 0,003**	-2,168 [-12,785; 8,449] *p* = 0,404	-2,690 [-8,591; 3,211] *p* = 0,113
	6	0,508 [-30,618; 31,634] *p* = 0,952	-7,444 [-39,511; 24,622] *p* = 0,387	-4,624 [-29,778; 20,530] *p* = 0,515	11,639 [-15,116; 38,394] *p* = 0,137	1,667 [-24,897; 28,230] *p* = 0,822	--	3,891 [-6,757; 14,540] *p* = 0,166	3,369 [-3,173; 9,911] *p* = 0,077
	7	1,286 [-32,783; 35,354] *p* = 0,885	-6,667 [-41,504; 28,170] *p* = 0,463	-3,846 [-33,646; 25,953] *p* = 0,618	12,417 [-18,267; 43,101] *p* = 0,146	2,444 [-28,266; 33,155] *p* = 0,759	0,778 [-31,030; 32,586] *p* = 0,926	--	-0,522 [-11,163; 10,119] *p* = 0,839
	8	-6,964 [-38,149; 24,220] *p* = 0,412	-14,917 [-47,125; 17,292] *p* = 0,097	-12,096 [-37,410; 13,217] *p* = 0,099	4,167 [-22,661; 30,995] *p* = 0,581	-5,806 [-32,524; 20,913] *p* = 0,434	-7,472 [-35,844; 20,899] *p* = 0,347	-8,250 [-40,208; 23,708] *p* = 0,335	--

Anlage 9: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA

Gruppe × KV »Geschlecht«

Faktorstufen der KV	
0 = Weiblich	1 = Männlich

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	2,202 [-0,206; 4,610]	0,073	--	2,202 [-0,156; 4,622]	0,072	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-0,033 [-2,441; 2,374]	0,978	--	-0,033 [-2,252; 2,287]	0,994	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	1,890 [-3,003; 6,782]	0,446	--	1,890 [-2,812; 7,091]	0,423	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-1,640 [-6,532; 3,252]	0,509	--	-1,640 [-6,286; 2,791]	0,489	--	--

Gruppe × KV »Zeitraum der Beherrschung der deutschen Sprache«

Faktorstufen der KV

0 = Seit Geburt 1 = Seit … Jahren

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	3,164 [-4,025; 10,353]	0,271	--	3,164 [-0,612; 6,634]	0,105	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	0,476 [-6,712; 7,665]	0,854	--	0,476 [-3,135; 4,026]	0,760	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	8,979 [3,207; 14,751]	0,012*	--	8,979 [5,494; 12,661]	< 0,001***	0,050	0,486

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-4,646 [-10,418; 1,126]	0,091	--	-4,646 [-8,147; -1,074]	0,011*	0,050	0,383

Gruppe × KV »Gesehene Zahl beim Ishihara-Farbtest«

Faktorstufen der KV

0 = Richtig (74) 1 = Falsch (7, 21, 24, 47, 71)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	2,726 [-0,171; 5,623]	0,064	--	2,726 [-0,454; 5,056]	0,090	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	1,949 [-0,947; 4,846]	0,181	--	1,949 [-1,094; 4,582]	0,189	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	2,365 [-3,603; 8,333]	0,429	--	2,365 [-4,289; 7,697]	0,491	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	2,177 [-3,791; 8,144]	0,466	--	2,177 [-3,753; 8,390]	0,459	--	--

Gruppe × KV »Klassenstufe«

Faktorstufen der KV

0 = 11. Klasse 1 = 12. Klasse

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	0,675 [-2,171; 3,522]	0,637	--	0,675 [-2,317; 3,596]	0,687	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	1,466 [-1,380; 4,312]	0,307	--	1,466 [-1,249; 4,478]	0,321	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	4,405 [-1,062; 9,872]	0,113	--	4,405 [-1,766; 9,456]	0,179	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	3,211 [-2,256; 8,678]	0,245	--	3,211 [-1,729; 8,859]	0,198	--	--

Gruppe × KV »Stunden Erdkunde/GWG pro Woche«

Faktorstufen der KV

0 = Kein Erdkunde bis 2 Stunden pro Woche (zus.gef.) 2 = 4 Stunden pro Woche

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,609 [-5,767; 0,550]	0,098	--	-2,609 [-5,300; 0,162]	0,066	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,825 [-2,333; 3,983]	0,584	--	0,825 [-2,085; 3,605]	0,571	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-7,648 [-13,452; -1,844]	0,012*	--	-7,648 [-12,931; -2,082]	0,006**	0,050	0,331

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,352 [-4,452; 7,156]	0,633	--	1,352 [-4,577; 6,561]	0,616	--	--

Gruppe × KV »Letzte Note Erdkunde/GWG«

Faktorstufen der KV

1 = Sehr gut 2 = Gut

3 = Befriedigend bis Ausreichend (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	2,394 [-1,286; 6,073]	0,116	--	2,394 [-3,829; 3,206]	0,904	--	--
1 vs. 3	0,873 [-3,304; 5,050]	0,611	--	0,873 [-4,878; 2,857]	0,593	--	--
2 vs. 3	-1,521 [-5,252; 2,211]	0,325	--	-1,521 [-4,083; 2,634]	0,633	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	-0,065 [-3,745; 3,614]	0,965	--	-0,065 [-3,829; 3,206]	0,904	--	--
1 vs. 3	-0,827 [-5,004; 3,350]	0,630	--	-0,827 [-4,878; 2,857]	0,593	--	--
2 vs. 3	-0,761 [-4,493; 2,970]	0,621	--	-0,761 [-4,083; 2,634]	0,633	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	3,142 [-5,467; 11,751]	0,371	--	3,142 [-4,665; 10,765]	0,366	--	--
1 vs. 3	2,833 [-6,064; 11,731]	0,436	--	2,833 [-5,496; 10,457]	0,437	--	--
2 vs. 3	-0,308 [-7,147; 6,530]	0,913	--	-0,308 [-6,871; 6,360]	0,904	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	3,083 [-5,526; 11,691]	0,380	--	3,083 [-4,390; 11,272]	0,362	--	--
1 vs. 3	0,367 [-8,531; 9,264]	0,919	--	0,367 [-7,798; 8,358]	0,969	--	--
2 vs. 3	-2,716 [-9,555; 4,123]	0,340	--	-2,716 [-9,690; 3,119]	0,284	--	--

Gruppe × KV »Letzte Note Deutsch«

Faktorstufen der KV	
1 = Sehr gut	3 = Befriedigend
2 = Gut	4 = Ausreichend bis Mangelhaft (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	-1,100 [-15,137; 12,9379	0,766	0,766	-1,100 [-7,776; 9,588]	0,839	--	--
1 vs. 3	1,177 [-12,821; 15,175]	0,751	0,766	1,177 [-5,958; 11,600]	0,654	--	--
1 vs. 4	2,458 [-11,412; 16,328]	0,519	0,766	2,458 [-4,942; 13,192]	0,434	--	--
2 vs. 3	2,277 [-1,495; 6,049]	0,111	0,332	2,277 [-1,735; 5,628]	0,126	--	--
2 vs. 4	3,558 [-0,643; 7,759]	0,025	0,147	3,558 [-1,599; 7,173]	0,052	--	--
3 vs. 4	1,281 [-2,987; 5,550]	0,414	0,766	1,281 [-3,917; 5,135]	0,492	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	0,439 [-13,598; 14,475]	0,905	--	0,439 [-7,581; 10,577]	0,867	--	--
1 vs. 3	1,510 [-12,487; 15,508]	0,685	--	1,510 [-6,131; 11,742]	0,658	--	--
1 vs. 4	1,708 [-12,162; 15,578]	0,650	--	1,708 [-6,192; 12,667]	0,620	--	--
2 vs. 3	1,072 [-2,700; 4,844]	0,451	--	1,072 [-2,532; 4,633]	0,461	--	--
2 vs. 4	1,270 [-2,931; 5,471]	0,411	--	1,270 [-3,032; 5,547]	0,474	--	--
3 vs. 4	0,198 [-4,071; 4,667]	0,899	--	0,198 [-3,948; 5,063]	0,928	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	-2,590 [-12,068; 6,889]	0,440	--	-2,590 [-12,205; 7,872]	0,475	--	--
1 vs. 3	-0,242 [-10,390; 9,907]	0,947	--	-0,242 [-10,625; 10,229]	0,967	--	--
1 vs. 4	-1,450 [-13,126; 10,226]	0,729	--	-1,450 [-13,267; 10,700]	0,741	--	--
2 vs. 3	2,348 [-5,046; 9,742]	0,396	--	2,348 [-5,894; 9,975]	0,393	--	--
2 vs. 4	1,140 [-8,575; 10,854]	0,743	--	1,140 [-8,411; 10,352]	0,751	--	--
3 vs. 4	-1,208 [-11,611; 9,194]	0,749	--	-1,208 [-11,521; 8,792]	0,710	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	1,041 [-8,437; 10,520]	0,755	--	1,041 [-10,263; 8,709]	0,881	--	--
1 vs. 3	3,492 [-6,657; 13,640]	0,342	--	3,492 [-7,304; 12,396]	0,448	--	--
1 vs. 4	5,450 [-6,226; 17,126]	0,200	--	5,450 [-7,900; 14,967]	0,308	--	--
2 vs. 3	2,450 [-4,943; 9,844]	0,378	--	2,450 [-4,953; 10,336]	0,377	--	--
2 vs. 4	4,409 [-5,305; 14,123]	0,211	--	4,409 [-4,988; 12,446]	0,254	--	--
3 vs. 4	1,598 [-8,444; 12,361]	0,605	--	1,598 [-8,396; 11,792]	0,656	--	--

Gruppe × KV »Letzte Note Mathematik«

Faktorstufen der KV	
1 = Sehr gut	2 = Gut
3 = Befriedigend	4 = Ausreichend
5 = Mangelhaft	

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	0,189 [-3,944; 7,722]	0,350	0,445	0,189 [-3,733; 7,178]	0,342	--	--
1 vs. 3	3,475 [-1,610; 8,560]	0,051	0,199	3,475 [-1,157; 8,531]	0,041	0,010	--
1 vs. 4	4,613 [-1,086; 10,311]	0,022	0,199	4,613 [-0,900; 10,250]	0,025	0,005	--
1 vs. 5	6,486 [-3,911; 16,883]	0,060	0,199	6,486 [-4,510; 14,414]	0,083	--	--
2 vs. 3	1,586 [-3,365; 6,537]	0,356	0,445	1,586 [-2,516; 6,290]	0,313	--	--
2 vs. 4	2,724 [-2,866; 8,313]	0,162	0,330	2,724 [-2,814; 7,736]	0,164	--	--
2 vs. 5	4,597 [-5,773; 14,966]	0,165	0,330	4,597 [-6,394; 12,506]	0,203	--	--
3 vs. 4	1,137 [-3,652; 5,927]	0,491	0,546	1,137 [-3,664; 5,144]	0,531	--	--
3 vs. 5	3,011 [-7,195; 13,216]	0,332	0,445	3,011 [-7,869; 10,303]	0,391	--	--
4 vs. 5	1,873 [-8,465; 12,211]	0,555	0,555	1,873 [-8,263; 9,515]	0,593	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	0,289 [-5,544; 6,122]	0,886	--	0,289 [-5,206; 5,511]	0,894	--	--
1 vs. 3	0,332 [-4,752; 5,147]	0,849	--	0,332 [-4,840; 4,894]	0,864	--	--
1 vs. 4	1,413 [-4,286; 7,111]	0,472	--	1,413 [-3,854; 6,654]	0,502	--	--
1 vs. 5	2,486 [-7,911; 12,883]	0,443	--	2,486 [-7,826; 10,562]	0,554	--	--
2 vs. 3	0,043 [-4,908; 4,995]	0,980	--	0,043 [-4,788; 4,207]	0,972	--	--
2 vs. 4	1,124 [-4,455; 6,713]	0,561	--	1,124 [-4,029; 6,053]	0,574	--	--
2 vs. 5	2,197 [-8,173; 12,566]	0,494	--	2,197 [-8,252; 10,767]	0,584	--	--
3 vs. 4	1,080 [-3,709; 5,870]	0,513	--	1,080 [-3,369; 5,592]	0,513	--	--
3 vs. 5	2,153 [-8,052; 12,359]	0,482	--	2,153 [-7,208; 9,929]	0,598	--	--
4 vs. 5	1,073 [-9,265; 11,411]	0,734	--	1,073 [-8,286; 9,254]	0,824	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	6,833 [-5,551; 19,218]	0,112	0,279	6,833 [-5,778; 16,700]	0,112	--	--
1 vs. 3	8,931 [-2,919; 20,780]	0,032	0,142	8,931 [-2,388; 18,975]	0,033	0,005	--
1 vs. 4	9,400 [-3,812; 22,612]	0,043	0,142	9,400 [-2,525; 20,700]	0,034	0,010	--
1 vs. 5	12,395 [-5,014; 29,805]	0,037	0,142	12,395 [-4,905; 25,105]	0,043	0,015	--
2 vs. 3	2,097 [-6,669; 10,863]	0,492	0,616	2,097 [-6,582; 11,335]	0,474	--	--
2 vs. 4	2,567 [-8,163; 13,296]	0,489	0,616	2,567 [-6,753; 11,914]	0,454	--	--
2 vs. 5	5,562 [-10,929; 22,053]	0,268	0,536	5,562 [-9,308; 17,454]	0,304	--	--
3 vs. 4	0,469 [-9,585; 10,524]	0,892	0,892	0,469 [-8,475; 8,776]	0,896	--	--
3 vs. 5	3,465 [-12,926; 19,855]	0,467	0,616	3,465 [-10,171; 14,307]	0,525	--	--
4 vs. 5	2,995 [-13,794; 19,785]	0,561	0,623	2,995 [-11,586; 14,340]	0,630	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
1 vs. 2	3,033 [-9,351; 15,418]	0,475	0,791	3,033 [-8,711; 14,244]	0,515	--	--
1 vs. 3	2,121 [-9,728; 13,970]	0,599	0,850	2,121 [-8,257; 12,842]	0,610	--	--
1 vs. 4	3,467 [-9,746; 16,679]	0,446	0,791	3,467 [-7,783; 14,508]	0,448	--	--
1 vs. 5	12,329 [-5,081; 29,738]	0,038	0,256	12,329 [-0,695; 28,048]	0,014	0,010	--
2 vs. 3	-0,912 [-9,678; 7,854]	0,765	0,850	-0,912 [-10,017; 7,806]	0,779	--	--
2 vs. 4	0,433 [-10,296; 11,163]	0,907	0,907	0,433 [-10,719; 9,700]	0,915	--	--
2 vs. 5	9,295 [-7,196; 25,786]	0,079	0,256	9,295 [-3,190; 24,730]	0,041	--	--
3 vs. 4	1,346 [-8,709; 11,400]	0,698	0,850	1,346 [-8,181; 10,419]	0,692	--	--
3 vs. 5	10,207 [-6,183; 26,598]	0,053	0,256	10,207 [-0,525; 24,550]	0,010	0,005	--
4 vs. 5	8,862 [-7,928; 25,651]	0,102	0,256	8,862 [-4,152; 24,017]	0,053	--	--

Gruppe × KV »Erfahrung im Computerumgang«

Faktorstufen der KV

0 = Überhaupt keine bis mittelmäßig (zusammengefasst) 3 = Viel

4 = Sehr viel

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	-2,290 [-5,421; 0,842]	0,081	--	-2,290 [-5,347; 0,915]	0,095	--	--
0 vs. 4	-0,933 [-5,766; 3,901]	0,626	--	-0,933 [-5,406; 3,449]	0,642	--	--
3 vs. 4	1,357 [-3,665; 6,379]	0,501	--	1,357 [-3,507; 5,944]	0,499	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	-1,208 [-4,340; 1,923]	0,354	--	-1,208 [-4,308; 1,988]	0,334	--	--
0 vs. 4	2,425 [-2,409; 7,258]	0,212	--	2,425 [-2,093; 6,616]	0,204	--	--
3 vs. 4	3,633 [-1,389; 8,655]	0,078	--	3,633 [-1,010; 8,067]	0,063	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	-3,573 [-9,549; 2,403]	0,153	--	-3,573 [-10,203; 2,512]	0,157	--	--
0 vs. 4	-4,542 [-13,362; 4,278]	0,197	--	-4,542 [-13,365; 3,411]	0,164	--	--
3 vs. 4	-0,970 [-9,933; 7,993]	0,783	--	-0,970 [-9,413; 7,252]	0,805	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	-2,287 [-8,263; 3,689]	0,359	0,359	-2,287 [-8,569; 3,453]	0,326	--	--
0 vs. 4	6,561 [-2,258; 15,381]	0,068	0,102	6,561 [-2,104; 13,936]	0,061	--	--
3 vs. 4	8,848 [-0,115; 17,812]	0,019	0,056	8,848 [0,935; 16,831]	0,010**	0,017	0,496

Gruppe × KV »Dauer der täglichen Computernutzung«

Faktorstufen der KV

0 = Keine Nutzung bis < 0,5 Stunden (zusammengefasst)	2 = < 0,5 bis 1 Stunde
3 = 1 bis 2 Stunden	4 = 2 bis > 4 Stunden (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-0,313 [-4,787; 4,161]	0,850	--	-0,313 [-4,801; 4,245]	0,837	--	--
0 vs. 3	-1,387 [-6,076; 3,301]	0,426	--	-1,387 [-6,205; 3,439]	0,417	--	--
0 vs. 4	-3,442 [-8,400; 1,515]	0,063	--	-3,442 [-8,168; 1,749]	0,080	--	--
2 vs. 3	-1,074 [-5,063; 2,915]	0,469	--	-1,074 [-5,506; 2,455]	0,496	--	--
2 vs. 4	-3,129 [-7,454; 1,196]	0,053	--	-3,129 [-6,748; 1,586]	0,076	--	--
3 vs. 4	-2,055 [-6,606; 2,496]	0,223	--	-2,055 [-6,362; 2,789]	0,288	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,889 [-7,363; 1,585]	0,084	--	-2,889 [-7,467; 1,540]	0,095	--	--
0 vs. 3	-1,145 [-5,833; 3,543]	0,510	--	-1,145 [-5,845; 3,376]	0,505	--	--
0 vs. 4	-2,214 [-7,172; 2,743]	0,228	--	-2,214 [-7,309; 2,459]	0,249	--	--
2 vs. 3	1,744 [-2,245; 5,733]	0,241	--	1,744 [-2,592; 5,103]	0,282	--	--
2 vs. 4	0,675 [-3,651; 5,000]	0,671	--	0,675 [-3,598; 4,667]	0,646	--	--
3 vs. 4	-1,069 [-5,621; 3,482]	0,524	--	-1,069 [-5,197; 3,447]	0,555	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-4,919 [-14,052; 4,213]	0,150	0,240	-4,919 [-13,230; 3,976]	0,125	--	--
0 vs. 3	-4,470 [-12,607; 3,668]	0,142	0,240	-4,470 [-12,856; 4,418]	0,147	--	--
0 vs. 4	-9,397 [-19,459; 0,665]	0,014	0,082	-9,397 [-18,647; 0,007]	0,011	0,008	--
2 vs. 3	0,450 [-8,002; 8,901]	0,886	0,886	0,450 [-8,020; 8,618]	0,881	--	--
2 vs. 4	-4,478 [-14,786; 5,831]	0,241	0,289	-4,478 [-13,559; 4,673]	0,240	--	--
3 vs. 4	-4,927 [-14,392; 4,537]	0,160	0,240	-4,927 [-13,940; 3,848]	0,175	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-6,232 [-15,364; 2,900]	0,070	--	-6,232 [-15,896; 1,918]	0,044	0,008	--
0 vs. 3	-4,442 [-12,580; 3,695]	0,144	--	-4,442 [-12,976; 2,598]	0,132	--	--
0 vs. 4	-3,573 [-13,634; 6,489]	0,336	--	-3,573 [-13,976; 5,216]	0,285	--	--
2 vs. 3	1,790 [-6,662; 10,241]	0,569	--	1,790 [-6,733; 9,446]	0,587	--	--
2 vs. 4	2,660 [-7,649; 12,968]	0,485	--	2,660 [-7,224; 11,583]	0,535	--	--
3 vs. 4	0,870 [-8,595; 10,335]	0,802	--	0,870 [-8,814; 9,891]	0,863	--	--

Gruppe × KV »Erfahrung mit Thema Braunkohleabbau«

Faktorstufen der KV

0 = Überhaupt keine 1 = Wenig

2 = Mittelmäßig bis sehr viel (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,801 [-7,245; 5,644]	0,745	--	-0,801 [-6,500; 4,310]	0,706	--	--
0 vs. 2	-0,024 [-6,449; 6,401]	0,992	--	-0,024 [-5,350; 5,102]	1,000	--	--
1 vs. 2	0,776 [-2,427; 3,980]	0,559	--	0,776 [-2,104; 3,694]	0,483	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-2,334 [-8,779; 4,111]	0,349	--	-2,334 [-7,424; 2,845]	0,332	--	--
0 vs. 2	-2,469 [-8,894; 3,956]	0,320	--	-2,469 [-7,493; 2,947]	0,286	--	--
1 vs. 2	-0,135 [-3,339; 3,069]	0,919	--	-0,135 [-3,368; 2,920]	0,864	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,868 [-11,369; 9,632]	0,835	--	-0,868 [-10,525; 8,684]	0,810	--	--
0 vs. 2	1,149 [-8,977; 11,275]	0,773	--	1,149 [-7,504; 9,971]	0,765	--	--
1 vs. 2	2,017 [-4,036; 8,071]	0,424	--	2,017 [-3,514; 7,893]	0,425	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-3,868 [-14,369; 6,632]	0,358	--	-3,868 [-13,486; 4,843]	0,287	--	--
0 vs. 2	-3,274 [-13,400; 6,852]	0,414	--	-3,274 [-12,460; 5,331]	0,385	--	--
1 vs. 2	0,595 [-5,459; 6,648]	0,813	--	0,595 [-5,424; 6,898]	0,770	--	--

Gruppe × KV »Bevorzugte Ansicht in Google Maps«

Faktorstufen der KV

0 = Nur die Luft- bzw. Satellitenbildansicht 1 = Nur die Kartenansicht

2 = Beide Ansichten

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,271 [-4,637; 4,095]	0,877	--	-0,271 [-5,170; 3,755]	0,895	--	--
0 vs. 2	-0,476 [-3,800; 2,849]	0,726	--	-0,476 [-4,120; 3,102]	0,804	--	--
1 vs. 2	-0,205 [-4, 380; 3,971]	0,903	--	-0,205 [-4,028; 4,080]	0,929	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	2,420 [-1,946; 6,786]	0,174	--	2,420 [-1,780; 7,523]	0,175	--	--
0 vs. 2	0,934 [-2,391; 4,258]	0,492	--	0,934 [-2,796; 4,414]	0,598	--	--
1 vs. 2	-1,486 [-5,661; 2,689]	0,379	--	-1,486 [-6,195; 2,035]	0,331	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,547 [-12,369; 11,274]	0,909	--	-0,547 [-12,382; 9,520]	0,828	--	--
0 vs. 2	1,819 [-7,191; 10,830]	0,612	--	1,819 [-6,457; 9,999]	0,583	--	--
1 vs. 2	2,366 [-7,058; 11,790]	0,532	--	2,366 [-6,120; 12,176]	0,470	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	3,477 [-8,345; 15,299]	0,469	--	3,477 [-6,928; 14,826]	0,401	--	--
0 vs. 2	1,514 [-7,496; 10,525]	0,683	--	1,514 [-6,857; 9,836]	0,650	--	--
1 vs. 2	-1,963 [-11,387; 7,461]	0,604	--	-1,963 [-11,708; 5,834]	0,541	--	--

Gruppe × KV »Erfahrung mit Mind Mapping«

Faktorstufen der KV

0 = Überhaupt keine bis mittelmäßig (zusammengefasst) 3 = Viel

4 = Sehr viel

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	0,280 [-3,344; 3,903]	0,850	--	0,280 [-3,301; 4,104]	0,849	--	--
0 vs. 4	-0,263 [-4,494; 3,969]	0,880	--	-0,263 [-4,384; 3,935]	0,855	--	--
3 vs. 4	-0,542 [-4,306; 3,221]	0,727	--	-0,542 [-3,892; 3,078]	0,745	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	0,813 [-2,810; 4,437]	0,582	--	0,813 [-2,878; 4,743]	0,619	--	--
0 vs. 4	-1,374 [-5,605; 2,857]	0,429	--	-1,374 [-5,419; 2,646]	0,410	--	--
3 vs. 4	-2,187 [-5,951; 1,577]	0,161	--	-2,187 [-5,753; 1,114]	0,146	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	0,409 [-7,975; 8,793]	0,904	--	0,409 [-7,394; 8,351]	0,885	--	--
0 vs. 4	-0,323 [-9,573; 8,926]	0,932	--	-0,323 [-9,157; 8,658]	0,900	--	--
3 vs. 4	-0,733 [-7,575; 6,110]	0,795	--	-0,733 [-7,739; 6,047]	0,769	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 3	2,009 [-6,375; 10,393]	0,553	--	2,009 [-6,353; 10,325]	0,603	--	--
0 vs. 4	-0,768 [-10,017; 8,482]	0,838	--	-0,768 [-10,391; 8,615]	0,830	--	--
3 vs. 4	-2,777 [-9,620; 4,066]	0,327	--	-2,777 [-9,975; 4,096]	0,352	--	--

Gruppe × KV »Sich die raumzeitliche Dynamik des Braunkohleabbaus sehr gut vorstellen können«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,097 [-1,536; 9,730]	0,051	0,126	4,097 [-1,428; 9,101]	0,055	--	--
0 vs. 3	1,173 [-3,976; 6,322]	0,521	0,625	1,173 [-3,245; 5,749]	0,509	--	--
0 vs. 4	-0,275 [-6,796; 6,245]	0,908	0,908	-0,275 [-5,606; 5,607]	0,975	--	--
2 vs. 3	-2,924 [-7,139; 1,290]	0,063	0,126	-2,924 [-6,559; 1,952]	0,104	--	--
2 vs. 4	-4,372 [-10,308; 1,563]	0,049	0,126	-4,372 [-9,294; 1,527]	0,078	--	--
3 vs. 4	-1,448 [-6,890; 3,994]	0,466	0,625	-1,448 [-6,020; 3,403]	0,518	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,264 [-1,369; 9,897]	0,042	0,254	4,264 [-1,518; 9,247]	0,060	--	--
0 vs. 3	2,256 [-2,893; 7,405]	0,223	0,439	2,256 [-2,710; 6,689]	0,210	--	--
0 vs. 4	2,291 [-4,230; 8,812]	0,337	0,439	2,291 [-4,198; 7,746]	0,379	--	--
2 vs. 3	-2,008 [-6,222; 2,206]	0,198	0,439	-2,008 [-5,621; 2,764]	0,287	--	--
2 vs. 4	-1,973 [-7,908; 3,963]	0,366	0,439	-1,973 [-7,592; 3,685]	0,396	--	--
3 vs. 4	0,035 [-5,408; 5,477]	0,986	0,986	0,035 [-5,253; 4,404]	0,950	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,230 [-8,731; 17,191]	0,355	0,533	4,230 [-6,968; 16,495]	0,294	--	--
0 vs. 3	-3,131 [-15,439; 9,177]	0,456	0,548	-3,131 [-12,336; 8,381]	0,504	--	--
0 vs. 4	0,292 [-13,436; 14,020]	0,952	0,952	0,292 [-10,724; 12,348]	0,893	--	--
2 vs. 3	-7,361 [-16,028; 1,306]	0,025	0,148	-7,361 [-15,037; 0,586]	0,023	0,008	--
2 vs. 4	-3,938 [-15,091; 7,215]	0,334	0,533	-3,938 [-14,182; 6,533]	0,323	--	--
3 vs. 4	3,423 [-6,729; 13,575]	0,350	0,533	3,423 [-6,393; 12,165]	0,335	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	3,830 [-9,131; 16,791]	0,402	--	3,830 [-7,307; 14,849]	0,405	--	--
0 vs. 3	-0,298 [-12,606; 12,011]	0,943	--	-0,298 [-10,595; 9,417]	0,961	--	--
0 vs. 4	0,692 [-13,036; 14,420]	0,886	--	0,692 [-11,568; 12,363]	0,860	--	--
2 vs. 3	-4,128 [-12,794; 4,539]	0,202	--	-4,128 [-11,647; 4,045]	0,206	--	--
2 vs. 4	-3,138 [-14,291; 8,015]	0,440	--	-3,138 [-13,309; 7,391]	0,473	--	--
3 vs. 4	0,990 [-9,163; 11,142]	0,785	--	0,990 [-7,583; 10,442]	0,783	--	--

Gruppe × KV »Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Wirtschaft sehr gut vorstellen können«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,102 [-3,429; 5,634]	0,512	0,705	1,102 [-3,315; 5,285]	0,504	--	--
0 vs. 3	-2,497 [-6,725; 1,731]	0,113	0,338	-2,497 [-6,720; 1,515]	0,118	--	--
0 vs. 4	-1,374 [-10,257; 7,509]	0,656	0,705	-1,374 [-9,505; 5,608]	0,597	--	--
2 vs. 3	-3,599 [-7,434; 0,235]	0,014	0,081	-3,599 [-7,685; 0,202]	0,018	0,008	--
2 vs. 4	-2,476 [-11,251; 6,298]	0,417	0,705	-2,476 [-9,914; 4,053]	0,362	--	--
3 vs. 4	1,123 [-7,542; 9,789]	0,705	0,705	1,123 [-6,421; 8,250]	0,716	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,309 [-4,223; 4,840]	0,854	--	0,309 [-3,950; 4,589]	0,879	--	--
0 vs. 3	0,693 [-3,534; 4,921]	0,656	--	0,693 [-3,756; 4,964]	0,637	--	--
0 vs. 4	-1,612 [-10,495; 7,271]	0,602	--	-1,612 [-9,341; 6,230]	0,629	--	--
2 vs. 3	0,385 [-3,450; 4,219]	0,788	--	0,385 [-3,578; 4,364]	0,744	--	--
2 vs. 4	-1,921 [-10,695; 6,854]	0,527	--	-1,921 [-9,177; 5,130]	0,545	--	--
3 vs. 4	-2,306 [-10,971; 6,360]	0,440	--	-2,306 [-10,175; 4,770]	0,462	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,649 [-6,679; 9,978]	0,593	0,889	1,649 [-6,651; 10,220]	0,592	--	--
0 vs. 3	-7,226 [-16,952; 2,500]	0,048	0,143	-7,226 [-15,887; 1,83339	0,052	--	--
0 vs. 4	0,591 [-15,821; 17,004]	0,917	0,917	0,591 [-17,724; 13,319]	0,953	--	--
2 vs. 3	-8,876 [-17,515; -0,236]	0,007	0,042*	-8,876 [-16,196; -0,786]	0,004**	0,008	0,397
2 vs. 4	-1,058 [-17,049; 14,932]	0,846	0,917	-1,058 [-18,648; 10,876]	0,709		--
3 vs. 4	7,817 [-8,687; 24,322]	0,184	0,368	7,817 [-10,333; 21,183]	0,298	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-1,292 [-9,621; 7,036]	0,675	--	-1,292 [-8,728; 7,167]	0,702	--	--
0 vs. 3	-0,845 [-10,572; 8,881]	0,814	--	-0,845 [-9,554; 8,381]	0,830	--	--
0 vs. 4	-5,980 [-22,393; 10,432]	0,301	--	-5,980 [-20,454; 11,839]	0,432	--	--
2 vs. 3	0,447 [-8,192; 9,087]	0,888	--	0,447 [-7,556; 8,111]	0,899	--	--
2 vs. 4	-4,688 [-20,679; 11,303]	0,396	--	-4,688 [-18,365; 12,156]	0,499	--	--
3 vs. 4	-5,135 [-21,640; 11,370]	0,377	--	-5,135 [-19,206; 12,659]	0,481	--	--

Gruppe × KV »Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Umwelt sehr gut vorstellen können«

Faktorstufen der KV	
1 = Trifft eher nicht zu	2 = Teils, teils
3 = Trifft eher zu	4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	2,379 [-4,916; 9,674]	0,358	0,430	2,379 [-4,582; 8,173]	0,363	--	--
1 vs. 3	0,256 [-6,330; 6,841]	0,907	0,907	0,256 [-4,517; 5,126]	0,881	--	--
1 vs. 4	-3,467 [-10,516; 3,582]	0,168	0,336	-3,467 [-9,024; 2,538]	0,116	--	--
2 vs. 3	-2,123 [-6,901; 2,655]	0,224	0,336	-2,123 [-6,266; 3,312]	0,305	--	--
2 vs. 4	-5,845 [-11,485; -0,205]	0,007	0,040*	-5,845 [-10,634; 0,452]	0,017	0,008	0,432
3 vs. 4	-3,722 [-7,942; 0,498]	0,019	0,058	-3,722 [-7,797; 0,419]	0,019	0,017	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	-0,493 [-7,788; 6,802]	0,847	--	-0,493 [-7,382; 5,176]	0,807	--	--
1 vs. 3	-2,137 [-8,722; 4,449]	0,336	--	-2,137 [-7,533; 2,506]	0,288	--	--
1 vs. 4	-3,200 [-10,249; 3,849]	0,201	--	-3,200 [-9,124; 1,886]	0,141	--	--
2 vs. 3	-1,644 [-6,422; 3,135]	0,345	--	-1,644 [-5,904; 3,403]	0,430	--	--
2 vs. 4	-2,707 [-8,347; 2,933]	0,194	--	-2,707 [-8,223; 2,755]	0,216	--	--
3 vs. 4	-1,063 [-5,283; 3,156]	0,492	--	-1,063 [-5,229,; 2,712]	0,469	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	1,668 [-12,956; 16,292]	0,744	--	1,668 [-9,877; 16,004]	0,649	--	--
1 vs. 3	-2,616 [-16,603; 11,372]	0,585	--	-2,616 [-12,632; 10,735]	0,686	--	--
1 vs. 4	-3,990 [-18,473; 10,492]	0,432	--	-3,990 [-16,124; 11,067]	0,492	--	--
2 vs. 3	-4,284 [-13,075; 4,507]	0,189	--	-4,284 [-12,421; 3,254]	0,160	--	--
2 vs. 4	-5,659 [-15,537; 4,219]	0,124	--	-5,659 [-14,722; 3,496]	0,111	--	--
3 vs. 4	-1,375 [-9,768; 7,019]	0,659	--	-1,375 [-9,814; 6,266]	0,642	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
1 vs. 2	-3,306 [-17,930; 11,318]	0,520	--	-3,306 [-15,589; 10,653]	0,548	--	--
1 vs. 3	-5,400 [-19,388; 8,588]	0,267	--	-5,400 [-16,650; 8,635]	0,311	--	--
1 vs. 4	-8,390 [-22,873; 6,092]	0,108	--	-8,390 [-21,210; 4,819]	0,107	--	--
2 vs. 3	-2,094 [-10,885; 6,697]	0,518	--	-2,094 [-9,896; 5,547]	0,542	--	--
2 vs. 4	-5,084 [-14,962; 4,794]	0,166	--	-5,084 [-14,678; 3,417]	0,138	--	--
3 vs. 4	-2,990 [-11,384; 5,403]	0,339	--	-2,990 [-11,432; 4,687]	0,309	--	--

Gruppe × KV »Sich raumzeitliche Veränderungen im Bereich Gesellschaft sehr gut vorstellen können«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,036 [-2,954; 11,0269	0,106	--	4,036 [-2,011; 9,549]	0,054	--	--
0 vs. 3	1,862 [-4,826; 8,551]	0,405	--	1,862 [-3,710; 6,619]	0,334	--	--
0 vs. 4	-1,149 [-9,813; 7,515]	0,702	--	-1,149 [-7,740; 5,506]	0,687	--	--
2 vs. 3	-2,173 [-6,023; 1,677]	0,131	--	-2,173 [-5,880; 1,619]	0,124	--	--
2 vs. 4	-5,185 [-12,587; 2,218]	0,053	--	-5,185 [-10,494; 0,445]	0,018	0,008	--
3 vs. 4	-3,011 [-10,165; 4,143]	0,212	--	-3,011 [-8,640; 2,663]	0,152	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,847 [-2,143; 11,837]	0,056	0,169	4,847 [-1,194; 10,046]	0,034	0,017	--
0 vs. 3	3,344 [-3,345; 10,033]	0,147	0,221	3,344 [-2,504; 8,082]	0,110	--	--
0 vs. 4	-0,673 [-9,337; 7,992]	0,822	0,822	-0,673 [-7,442; 6,051]	0,743	--	--
2 vs. 3	-1,503 [-5,353; 2,346]	0,294	0,353	-1,503 [-5,284; 2,310]	0,306	--	--
2 vs. 4	-5,520 [-12,923; 1,883]	0,041	0,169	-5,520 [-11,424; 0,694]	0,019	0,008	--
3 vs. 4	-4,017 [-11,170; 3,137]	0,105	0,210	-4,017 [-9,709; 1,452]	0,060	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	2,730 [-9,325; 14,784]	0,528	--	2,730 [-7,728; 14,343]	0,460	--	--
0 vs. 3	-0,817 [-12,162; 10,528]	0,837	--	-0,817 [-11,130; 9,333]	0,940	--	--
0 vs. 4	2,429 [-10,840; 15,697]	0,608	--	2,429 [-10,893; 14,675]	0,642	--	--
2 vs. 3	-3,547 [-11,787; 4,693]	0,251	--	-3,547 [-10,858; 4,286]	0,274	--	--
2 vs. 4	-0,301 [-11,429; 10,827]	0,940	--	-0,301 [-12,235; 8,6549	0,839	--	--
3 vs. 4	3,246 [-7,100; 13,592]	0,378	--	3,246 [-9,717; 11,534]	0,481	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	5,686 [-6,368; 17,740]	0,194	0,378	5,686 [-5,602; 16,415]	0,170	--	--
0 vs. 3	0,960 [-10,385; 12,305]	0,810	0,810	0,960 [-9,561; 10,429]	0,808	--	--
0 vs. 4	-3,286 [-16,554; 9,983]	0,489	0,587	-3,286 [-15,806; 10,631]	0,548	--	--
2 vs. 3	-4,726 [-12,966; 3,514]	0,127	0,378	-4,726 [-12,784; 2,549]	0,099	--	--
2 vs. 4	-8,972 [-20,100; 2,156]	0,031	0,188	-8,972 [-19,013; 3,678]	0,056	--	--
3 vs. 4	-4,246 [-14,592; 6,100]	0,252	0,378	-4,246 [-13,157; 8,745]	0,363	--	--

Gruppe × KV »Wissenslücken in der CM_{vorw} schließen können«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,454 [-4,948; 5,856]	0,813	0,813	0,454 [-5,216; 4,742]	0,796	--	--
0 vs. 3	-0,940 [-6,158; 4,279]	0,610	0,733	-0,940 [-6,413; 3,108]	0,521	--	--
0 vs. 4	-8,596 [-15,298; -1,894]	0,001	0,002**	-8,596 [-15,982; -2,601]	< 0,001***	0,025	0,560
2 vs. 3	-1,394 [-5,165; 2,377]	0,325	0,488	-1,394 [-4,955; 1,736]	0,264	--	--
2 vs. 4	-9,050 [-14,919; -3,181]	< 0,001	0,001***	-9,050 [-14,786; -3,797]	< 0,001***	0,017	0,622
3 vs. 4	-7,656 [-13,350; -1,962]	0,001	0,002**	-7,656 [-13,287; -2,347]	< 0,001***	0,008	0,522

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	2,990 [-2,411; 8,392]	0,129	--	2,990 [-2,689; 7,288]	0,135	--	--
0 vs. 3	2,482 [-2,736; 7,701]	0,186	--	2,482 [-2,614; 6,393]	0,176	--	--
0 vs. 4	0,374 [-6,328; 7,076]	0,877	--	0,374 [-5,795; 6,439]	0,933	--	--
2 vs. 3	-0,508 [-4,279; 3,263]	0,719	--	-0,508 [-4,116; 2,908]	0,713	--	--
2 vs. 4	-2,617 [-8,485; 3,252]	0,223	--	-2,617 [-8,044; 2,719]	0,240	--	--
3 vs. 4	-2,109 [-7,803; 3,586]	0,307	--	-2,109 [-7,185; 3,080]	0,317	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-1,756 [-9,526; 6,014]	0,541	0,541	-1,756 [-9,566; 6,797]	0,669	--	--
0 vs. 3	-3,546 [-10,206; 3,115]	0,152	0,228	-3,546 [-10,342; 4,039]	0,232	--	--
0 vs. 4	-19,889 [-30,398; -9,379]	< 0,001	< 0,001***	-19,889 [-29,793; -8,596]	< 0,001***	0,008	0,691
2 vs. 3	-1,790 [-9,289; 5,708]	0,523	0,541	-1,790 [-8,601; 4,932]	0,486	--	--
2 vs. 4	-18,133 [-29,170; -7,096]	< 0,001	< 0,001***	-18,133 [-27,883; -6,867]	0,001***	0,025	0,588
3 vs. 4	-16,343 [-26,715; -5,972]	< 0,001	< 0,001***	-16,343 [-25,187; -5,354]	0,001***	0,017	0,565

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	2,644 [-5,126; 10,414]	0,358	--	2,644 [-6,976; 9,882]	0,493	--	--
0 vs. 3	1,454 [-5,206; 8,115]	0,553	--	1,454 [-6,666; 7,617]	0,665	--	--
0 vs. 4	-3,889 [-14,398; 6,621]	0,307	--	-3,889 [-14,722; 5,924]	0,268	--	--
2 vs. 3	-1,190 [-8,689; 6,308]	0,671	--	-1,190 [-8,949; 6,718]	0,710	--	--
2 vs. 4	-6,533 [-17,570; 4,504]	0,109	--	-6,533 [-17,561; 4,556]	0,108	--	--
3 vs. 4	-5,343 [-15,715; 5,028]	0,159	--	-5,343 [-14,916; 3,940]	0,134	--	--

Gruppe × KV »Neue Relationen zwischen zuvor nicht miteinander verknüpften Konzepten erstellen können«

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.)	2 = Teils, teils
3 = Trifft eher zu	4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-1,289 [-5,583; 3,005]	0,418	0,501	-1,289 [-5,557; 2,858]	0,413	--	--
0 vs. 3	-1,375 [-5,593; 2,843]	0,379	0,501	-1,375 [-5,425; 2,974]	0,417	--	--
0 vs. 4	-5,895 [-12,662; 0,871]	0,020	0,114	-5,895 [-12,938; 0,677]	0,019	0,008	--
2 vs. 3	-0,086 [-3,724; 3,551]	0,950	0,950	-0,086 [-4,143; 3,795]	0,987	--	--
2 vs. 4	-4,606 [-11,112; 1,900]	0,054	0,114	-4,606 [-11,557; 1,202]	0,037	0,017	--
3 vs. 4	-4,520 [-10,984; 1,943]	0,057	0,114	-4,520 [-10,663; 1,099]	0,038	0,025	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,266 [-3,028; 5,559]	0,426	0,636	1,266 [-3,094; 5,588]	0,361	--	--
0 vs. 3	3,218 [-0,999; 7,436]	0,042	0,253	3,218 [-1,133; 7,139]	0,047	0,008	--
0 vs. 4	1,516 [-5,250; 8,283]	0,530	0,636	1,516 [-5,178; 7,461]	0,567	--	--
2 vs. 3	1,953 [-1,685; 5,590]	0,154	0,463	1,953 [-2,243; 5,326]	0,221	--	--
2 vs. 4	0,251 [-6,255; 6,756]	0,913	0,913	0,251 [-6,147; 6,138]	0,991	--	--
3 vs. 4	-1,702 [-8,165; 4,761]	0,456	0,636	-1,702 [-7,675; 4,469]	0,503	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-6,249 [-13,859; 1,3629]	0,030	0,045*	-6,249 [-14,065; 1,085]	0,034	0,033	0,292
0 vs. 3	-4,106 [-11,075; 2,863]	0,117	0,141	-4,106 [-11,341; 2,976]	0,132	--	--
0 vs. 4	-17,595 [-29,444; -5,745]	< 0,001	0,002**	-17,595 [-27,734; -7,237]	< 0,001***	0,008	0,700
2 vs. 3	2,143 [-5,944; 10,230]	0,480	0,480	2,143 [-5,763; 10,850]	0,473	--	--
2 vs. 4	-11,346 [-23,769; 1,077]	0,016	0,031*	-11,346 [-22,670; 1,227]	0,021*	0,025	0,392
3 vs. 4	-13,489 [-25,621; -1,357]	0,004	0,012*	-13,489 [-24,847; -2,808]	0,001***	0,017	0,487

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,272 [-7,338; 7,883]	0,923	--	0,272 [-7,657; 8,389]	0,835	--	--
0 vs. 3	2,129 [-4,839; 9,098]	0,414	--	2,129 [-5,430; 8,771]	0,445	--	--
0 vs. 4	-1,359 [-13,209; 10,490]	0,745	--	-1,359 [-12,757; 8,2772]	0,671	--	--
2 vs. 3	1,857 [-6,230; 9,944]	0,540	--	1,857 [-7,351; 9,517]	0,614	--	--
2 vs. 4	-1,632 [-14,055; 10,792]	0,714	--	-1,632 [-13,887; 9,514]	0,591	--	--
3 vs. 4	-3,489 [-15,621; 8,643]	0,420	--	-3,489 [-15,830; 6,948]	0,359	--	--

Gruppe × KV »CM_{mod} besser gelungen als CM_{vorw}«

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.)	2 = Teils, teils
3 = Trifft eher zu	4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,187 [-4,091; 4,465]	0,905	0,993	0,187 [-3,980; 3,758]	0,931	--	--
0 vs. 3	0,173 [-3,932; 4,279]	0,908	0,993	0,173 [-4,140; 3,973]	0,939	--	--
0 vs. 4	-6,697 [-11,910; -1,483]	0,001	0,002**	-6,697 [-12,470; -1,854]	0,001***	0,017	0,501
2 vs. 3	-0,014 [-3,970; 3,943]	0,993	0,993	-0,014 [-3,631; 3,842]	0,984	--	--
2 vs. 4	-6,884 [-12,022; -1,745]	0,001	0,002**	-6,884 [-12,161; -1,683]	0,002**	0,025	0,451
3 vs. 4	-6,870 [-11,870; -1,870]	< 0,001	0,002**	-6,870 [-12,024; -1,786]	< 0,001***	0,008	0,470

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	2,773 [-1,505; 7,051]	0,082	0,245	2,773 [-1,378; 6,781]	0,096	--	--
0 vs. 3	3,412 [-0,694; 7,518]	0,027	0,163	3,412 [-0,538; 7,341]	0,028	0,008	--
0 vs. 4	2,508 [-2,705; 7,722]	0,192	0,384	2,508 [-3,025; 7,723]	0,265	--	--
2 vs. 3	0,639 [-3,318; 4,595]	0,665	0,799	0,639 [-2,942; 4,363]	0,640	--	--
2 vs. 4	-0,265 [-5,403; 4,874]	0,889	0,889	-0,265 [-5,587; 4,469]	0,862	--	--
3 vs. 4	-0,903 [-5,903; 4,096]	0,623	0,799	-0,903 [-6,144; 3,810]	0,566	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	2,736 [-6,149; 11,621]	0,390	0,468	2,736 [-5,863; 11,085]	0,426	--	--
0 vs. 3	-1,582 [-10,919; 7,754]	0,639	0,639	-1,582 [-10,897; 6,811]	0,625	--	--
0 vs. 4	-13,856 [-25,726; -1,987]	0,003	0,006**	-13,856 [-25,359; -3,220]	< 0,001***	0,025	0,525
2 vs. 3	-4,318 [-11,360; 2,24]	0,103	0,155	-4,318 [-11,579; 3,325]	0,143	--	--
2 vs. 4	-16,592 [-27,005; -6,180]	< 0,001	< 0,001***	-16,592 [-26,758; -6,452]	< 0,001***	0,017	0,544
3 vs. 4	-12,274 [-23,110; -1,438]	0,003	0,006**	-12,274 [-23,512; -2,333]	< 0,001***	0,008	0,398

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,344 [-7,541; 10,229]	0,671	--	1,344 [-7,106; 9,506]	0,657	--	--
0 vs. 3	1,864 [-7,473; 11,200]	0,581	--	1,864 [-6,454; 10,234]	0,539	--	--
0 vs. 4	4,656 [-7,213; 16,526]	0,285	--	4,656 [-6,236; 15,410]	0,251	--	--
2 vs. 3	0,520 [-6,522; 7,562]	0,843	--	0,520 [-6,455; 8,899]	0,805	--	--
2 vs. 4	3,312 [-7,100; 13,725]	0,385	--	3,312 [-6,225; 13,103]	0,391	--	--
3 vs. 4	2,793 [-8,044; 13,629]	0,483	--	2,793 [-7,219; 13,295]	0,510	--	--

Gruppe × KV »Einfache Modifikation mit CmapTools«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,085 [-,833; 3,663]	0,299	0,358	-2,085 [-6,629; 3,249]	0,346	--	--
0 vs. 3	-2,194 [-7,524; 3,136]	0,220	0,330	-2,194 [-6,375; 2,467]	0,213	--	--
0 vs. 4	-7,854 [-13,469; -2,240]	0,001	0,002**	-7,854 [-12,781; -2,979]	< 0,001***	0,017	0,662
2 vs. 3	-0,109 [-4,305; 4,087]	0,944	0,944	-0,109 [-4,242; 3,821]	0,928	--	--
2 vs. 4	-5,770 [-10,531; -1,008]	0,002	0,003**	-5,770 [-10,327; -1,216]	0,001***	0,025	0,432
3 vs. 4	-5,661 [-9,587; -1,734]	< 0,001	0,001***	-5,661 [-9,312; -1,386]	< 0,001***	0,008	0,465

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,040 [-5,708; 5,788]	0,984	--	0,040 [-4,843; 5,036]	0,968	--	--
0 vs. 3	-0,806 [-6,136; 4,524]	0,641	--	-0,806 [-5,019; 3,911]	0,656	--	--
0 vs. 4	-1,207 [-6,822; 4,407]	0,530	--	-1,207 [-6,400; 3,925]	0,538	--	--
2 vs. 3	-0,847 [-5,043; 3,349]	0,584	--	-0,847 [-4,581; 3,113]	0,589	--	--
2 vs. 4	-1,248 [-6,009; 3,514]	0,480	--	-1,248 [-5,969; 3,052]	0,455	--	--
3 vs. 4	-0,401 [-4,327; 3,526]	0,784	--	-0,401 [-4,490; 3,043]	0,787	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-5,542 [-19,404; 8,321]	0,218	0,261	-5,542 [-18,389; 6,983]	0,276	--	--
0 vs. 3	-7,538 [-21,389; 6,314]	0,107	0,161	-7,538 [-20,626; 5,449]	0,137	--	--
0 vs. 4	-15,452 [-29,354; -1,551]	0,005	0,016*	-15,452 [-28,314; -2,376]	0,003**	0,017	0,646
2 vs. 3	-1,996 [-9,438; 5,446]	0,473	0,473	-1,996 [-9,188; 5,627]	0,511	--	--
2 vs. 4	-9,911 [-17,779; -2,043]	0,001	0,007**	-9,911 [-17,763; -1,782]	0,001***	0,008	0,433
3 vs. 4	-7,915 [-15,830; 0,000]	0,009	0,018*	-7,915 [-16,082; 0,087]	0,011*	0,025	0,322

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	4,208 [-9,564; 18,071]	0,340	--	4,208 [-11,747; 14,081]	0,520	--	--
0 vs. 3	2,204 [-11,647; 16,056]	0,612	--	2,204 [-12,791; 12,546]	0,803	--	--
0 vs. 4	1,606 [-12,295; 15,508]	0,716	--	1,606 [-14,183; 11,424]	0,899	--	--
2 vs. 3	-2,004 [-9,446; 5,438]	0,471	--	-2,004 [-9,921; 6,147]	0,469	--	--
2 vs. 4	-2,602 [-10,470; 5,266]	0,374	--	-2,602 [-10,467; 4,573]	0,369	--	--
3 vs. 4	-0,598 [-8,513; 7,317]	0,840	--	-0,598 [-8,885; 7,045]	0,856	--	--

Gruppe × KV »Zufriedenheit mit CM_{mod}«

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-$Wert_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-1,710 [-6,195; 2,775]	0,296	0,296	-1,710 [-6,150; 2,379]	0,326	--	--
0 vs. 3	-4,329 [-8,648; -0,010]	0,009	0,017*	-4,329 [-8,648; -0,282]	0,005**	0,025	0,405
0 vs. 4	-8,583 [-14,212; -2,955]	< 0,001	0,001***	-8,583 [-14,153; -3,242]	< 0,001***	0,017	0,722
2 vs. 3	-2,619 [-6,154; 0,917]	0,050	0,060	-2,619 [-6,183; 1,126]	0,066	--	--
2 vs. 4	-6,873 [-12,035; -1,712]	0,001	0,002**	-6,873 [-12,155; -1,856]	< 0,001***	0,008	0,535
3 vs. 4	-4,255 [-9,281; 0,772]	0,024	0,036*	-4,255 [-9,595; 0,711]	0,024*	0,033	0,339

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,073 [-4,558; 4,412]	0,964	--	0,073 [-4,366; 4,385]	0,962	--	--
0 vs. 3	1,395 [-2,924; 5,714]	0,373	--	1,395 [-2,388; 5,743]	0,335	--	--
0 vs. 4	0,917 [-4,712; 6,545]	0,652	--	0,917 [-4,986; 6,258]	0,669	--	--
2 vs. 3	1,469 [-2,067; 5,004]	0,268	--	1,469 [-2,562; 5,249]	0,319	--	--
2 vs. 4	0,990 [-4,172; 6,152]	0,596	--	0,990 [-4,865; 5,633]	0,670	--	--
3 vs. 4	-0,479 [-5,505; 4,548]	0,791	--	-0,479 [-6,258; 3,934]	0,753	--	--

b.) S-$Wert_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-4,840 [-12,469; 2,789]	0,088	0,106	-4,840 [-12,399; 2,021]	0,069	--	--
0 vs. 3	-11,679 [-19,726; -3,632]	< 0,001	0,001***	-11,679 [-20,640; -4,188]	< 0,001***	0,017	0,531
0 vs. 4	-15,144 [-23,066; -7,223]	< 0,001	< 0,001***	-15,144 [-23,806; -7,450]	< 0,001***	0,008	0,772
2 vs. 3	-6,839 [-14,783; 1,104]	0,023	0,035*	-6,839 [-14,968; 0,779]	0,021*	0,033	0,282
2 vs. 4	-10,305 [-18,152; -2,457]	< 0,001	0,002**	-10,305 [-18,467; -2,492]	0,001***	0,025	0,521
3 vs. 4	-3,466 [-11,721; 4,790]	0,258	0,258	-3,466 [-12,647; 5,484]	0,308	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,860 [-10,489; 4,769]	0,308	--	-2,860 [-10,210; 4,453]	0,302	--	--
0 vs. 3	-0,721 [-8,768; 7,326]	0,808	--	-0,721 [-9,015; 7,131]	0,836	--	--
0 vs. 4	-3,256 [-11,177; 4,666]	0,261	--	-3,256 [-11,006; 4,267]	0,265	--	--
2 vs. 3	2,139 [-5,804; 10,083]	0,472	--	2,139 [-5,880; 9,756]	0,506	--	--
2 vs. 4	-0,395 [-8,243; 7,452]	0,890	--	-0,395 [-8,547; 7,630]	0,851	--	--
3 vs. 4	-2,534 [-10,790; 5,721]	0,407	--	-2,534 [-11,161; 5,632]	0,434	--	--

Gruppe × KV »Schwierigkeiten bei der Modifikation« (umgepolt)

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-4,021 [-10,966; 2,925]	0,109	0,164	-4,021 [-9,769; 1,901]	0,106	--	--
0 vs. 3	-3,547 [-9,896; 2,803]	0,109	0,164	-3,547 [-8,114; 1,158]	0,061	--	--
0 vs. 4	-6,598 [-13,214; 0,019]	0,009	0,055	-6,598 [-11,820; -1,084]	0,003**	0,008	0,563
2 vs. 3	0,474 [-4,249; 5,197]	0,784	0,784	0,474 [-4,527; 4,719]	0,828	--	--
2 vs. 4	-2,577 [-7,844; 2,690]	0,188	0,225	-2,577 [-7,959; 2,061]	0,179	--	--
3 vs. 4	-3,051 [-7,013; 0,911]	0,041	0,123	-3,051 [-6,916; 0,828]	0,034	0,017	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,063 [-5,883; 8,008]	0,662	--	1,063 [-4,898; 7,154]	0,657	--	--
0 vs. 3	-0,124 [-6,474; 6,225]	0,952	--	-0,124 [-4,796; 5,310]	0,986	--	--
0 vs. 4	-0,558 [-7,175; 6,059]	0,805	--	-0,558 [-5,917; 5,178]	0,850	--	--
2 vs. 3	-1,187 [-5,910; 3,536]	0,493	--	-1,187 [-5,290; 3,271]	0,545	--	--
2 vs. 4	-1,621 [-6,888; 3,646]	0,405	--	-1,621 [-6,435; 3,430]	0,462	--	--
3 vs. 4	-0,434 [-4,396; 3,528]	0,768	--	-0,434 [-4,443; 3,281]	0,741	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-6,774 [-17,774; 4,116]	0,089	0,107	-6,774 [-17,499; 3,380]	0,074	--	--
0 vs. 3	-13,327 [-23,626; -3,017]	0,001	0,004**	-13,327 [-23,635; -3,876]	< 0,001***	0,017	0,569
0 vs. 4	-15,284 [-25,895; -4,674]	< 0,001	0,003**	-15,284 [-26,146; -6,132]	< 0,001***	0,008	0,603
2 vs. 3	-6,553 [-15,032; 1,926]	0,040	0,060	-6,553 [-14,101; 1,185]	0,034	0,033	--
2 vs. 4	-8,510 [-17,425; 0,404]	0,012	0,024*	-8,510 [-16,872; -0,754]	0,004**	0,025	0,374
3 vs. 4	-1,958 [-9,962; 6,047]	0,514	0,514	-1,958 [-10,177; 5,862]	0,508	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,060 [-9,831; 11,950]	0,784	--	1,060 [-11,763; 9,575]	0,958	--	--
0 vs. 3	-2,206 [-12,505; 8,094]	0,543	--	-2,206 [-14,083; 7,446]	0,509	--	--
0 vs. 4	-1,521 [-12,131; 9,089]	0,686	--	-1,521 [-13,610; 8,212]	0,582	--	--
2 vs. 3	-3,265 [-11,744; 5,213]	0,300	--	-3,265 [-10,679; 5,366]	0,321	--	--
2 vs. 4	-2,581 [-11,495; 6,334]	0,435	--	-2,581 [-11,740; 5,870]	0,450	--	--
3 vs. 4	0,685 [-7,319; 8,689]	0,819	--	0,685 [-7,711; 8,415]	0,912	--	--

Gruppe × KV »Schwierigkeiten bei der Repräsentation von Systeminformationen als Konzepte« (umgepolt)

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	0,806 [-4,913; 6,524]	0,694	0,694	0,806 [-4,176; 6,870]	0,651	--	--
0 vs. 3	-3,717 [-9,360; 1,926]	0,073	0,219	-3,717 [-8,633; 2,050]	0,103	--	--
0 vs. 4	-1,883 [-8,729; 4,961]	0,446	0,536	-1,883 [-8,361; 5,150]	0,493	--	--
2 vs. 3	-4,522 [-8,511; -0,533]	0,003	0,019*	-4,522 [-8,406; -0,904]	0,001***	0,008	0,376
2 vs. 4	-2,689 [-8,473; 3,095]	0,201	0,401	-2,689 [-8,507; 2,970]	0,194	--	--
3 vs. 4	1,833 [-3,875; 7,542]	0,370	0,536	1,833 [-4,056; 6,911]	0,422	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,639 [-4,080; 7,358]	0,426	--	1,639 [-3,528; 7,333]	0,415	--	--
0 vs. 3	0,650 [-4,993; 6,293]	0,746	--	0,650 [-4,433; 6,800]	0,686	--	--
0 vs. 4	0,283 [-6,561; 7,128]	0,908	--	0,283 [-6,583; 6,556]	0,950	--	--
2 vs. 3	-0,989 [-4,978; 3,000]	0,507	--	-0,989 [-4,720; 3,363]	0,581	--	--
2 vs. 4	-1,356 [-7,139; 4,428]	0,514	--	-1,356 [-7,900; 3,867]	0,527	--	--
3 vs. 4	-0,367 [-6,075; 5,342]	0,857	--	-0,367 [-6,900; 4,533]	0,806	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,852 [-12,594; 6,890]	0,427	0,502	-2,852 [-11,315; 7,722]	0,460	--	--
0 vs. 3	-10,467 [-20,379; -0,554]	0,006	0,034*	-10,467 [-19,000; 0,033]	0,011	0,008	0,416
0 vs. 4	-5,333 [-16,302; 5,635]	0,186	0,278	-5,333 [-14,567; 6,178]	0,235	--	--
2 vs. 3	-7,615 [-16,533; 1,303]	0,024	0,072	-7,615 [-15,985; 0,185]	0,013	0,017	--
2 vs. 4	-2,481 [-12,648; 7,685]	0,502	0,502	-2,481 [-11,696; 6,993]	0,468	--	--
3 vs. 4	5,133 [-5,191; 15,458]	0,177	0,278	5,133 [-4,278; 14,467]	0,147	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-3,741 [-13,483; 6,001]	0,298	--	-3,741 [-12,389; 5,500]	0,268	--	--
0 vs. 3	-0,333 [-10,246; 9,579]	0,927	--	-0,333 [-9,900; 10,200]	0,954	--	--
0 vs. 4	-1,333 [-12,302; 9,635]	0,738	--	-1,333 [-10,567; 9,844]	0,759	--	--
2 vs. 3	3,407 [-5,510; 12,325]	0,306	--	3,407 [-4,811; 12,585]	0,273	--	--
2 vs. 4	2,407 [-7,759; 12,574]	0,515	--	2,407 [-6,881; 11,763]	0,451	--	--
3 vs. 4	-1,000 [-11,324; 9,324]	0,790	--	-1,000 [-10,467; 8,422]	0,814	--	--

Gruppe × KV »Schwierigkeiten bei der Verknüpfung von Konzepten aufgrund von Systeminformationen« (umgepolt)

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.) 2 = Teils, teils

3 = Trifft eher zu 4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	1,345 [-3,307; 5,998]	0,420	0,420	1,345 [-2,601; 6,139]	0,368	--	--
0 vs. 3	-4,280 [-8,892; 0,332]	0,014	0,043*	-4,280 [-8,451; 0,795]	0,028	0,025	0,345
0 vs. 4	-2,355 [-7,919; 3,210]	0,243	0,347	-2,355 [-8,375; 2,988]	0,251	--	--
2 vs. 3	-5,626 [-9,409; -1,843]	< 0,001	0,001***	-5,626 [-9,686; -2,143]	< 0,001***	0,008	0,452
2 vs. 4	-3,700 [-8,721; 1,321]	0,048	0,096	-3,700 [-9,967; 0,385]	0,023	0,017	--
3 vs. 4	1,926 [-3,058; 6,909]	0,289	0,347	1,926 [-4,458; 6,134]	0,395	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-0,655 [-5,307; 3,998]	0,693	--	-0,655 [-4,691; 4,277]	0,704	--	--
0 vs. 3	0,220 [-4,393; 4,832]	0,894	--	0,220 [-4,155; 4,939]	0,883	--	--
0 vs. 4	-0,355 [-5,919; 5,210]	0,859	--	-0,355 [-6,920; 5,239]	0,831	--	--
2 vs. 3	0,874 [-2,909; 4,657]	0,537	--	0,874 [-2,845; 4,587]	0,537	--	--
2 vs. 4	0,300 [-4,721; 5,321]	0,869	--	0,300 [-5,307; 4,5505]	0,915	--	--
3 vs. 4	-0,574 [-5,558; 4,409]	0,750	--	-0,574 [-6,456; 4,104]	0,703	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-2,581 [-12,387; 7,225]	0,470	0,470	-2,581 [-12,376; 7,962]	0,581	--	--
0 vs. 3	-8,985 [-18,531; 0,561]	0,013	0,079	-8,985 [-18,076; 1,038]	0,022	0,008	--
0 vs. 4	-5,889 [-16,282; 4,504]	0,124	0,247	-5,889 [-17,339; 4,980]	0,172	--	--
2 vs. 3	-6,404 [.14,913; 2,104]	0,046	0,138	-6,404 [-14,618; 0,984]	0,034	0,017	--
2 vs. 4	-3,308 [-12,847; 6,230]	0,345	0,434	-3,308 [-14,523; 4,907]	0,294	--	--
3 vs. 4	3,096 [-6,170; 12,362]	0,362	0,434	3,096 [-7,368; 11,559]	0,418	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 2	-5,099 [-14,905; 4,707]	0,158	--	-5,099 [-14,639; 5,327]	0,194	--	--
0 vs. 3	0,015 [-9,531; 9,561]	0,997	--	0,015 [-9,583; 10,636]	0,966	--	--
0 vs. 4	-0,111 [-10,504; 10,282]	0,976	--	-0,111 [-12,380; 9,923]	0,936	--	--
2 vs. 3	5,114 [-3,394; 13,623]	0,109	--	5,114 [-3,507; 13,352]	0,098	--	--
2 vs. 4	4,988 [-4,550; 14,527]	0,157	--	4,988 [-6,333; 13,987]	0,215	--	--
3 vs. 4	-0,126 [-9,392; 9,140]	0,970	--	-0,126 [-11,611; 8,123]	0,897	--	--

Gruppe × KV »Schwierigkeiten bei der Erstellung von passenden Verbindungswörtern zur Beschreibung von verknüpften Konzepten aufgrund von Systeminformationen« (umgepolt)

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht bis trifft eher nicht zu (zus.gef.)	2 = Teils, teils
3 = Trifft eher zu	4 = Trifft völlig zu

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 2	3,019 [-1,928; 7,966]	0,101	0,203	3,019 [-1,710; 7,708]	0,071	--	--
0 vs. 3	-0,662 [-5,710; 4,386]	0,722	0,894	-0,662 [-5,667; 4,513]	0,792	--	--
0 vs. 4	-0,620 [-5,852; 4,613]	0,745	0,894	-0,620 [-6,958; 3,856]	0,679	--	--
2 vs. 3	-3,681 [-8,134; 0,772]	0,029	0,117	-3,681 [-7,528; 0,665]	0,028	0,017	--
2 vs. 4	-3,639 [-8,342; 1,064]	0,039	0,117	-3,639 [-9,821; 0,504]	0,026	0,008	--
3 vs. 4	0,042 [-4,765; 4,850]	0,981	0,981	0,042 [-6,170; 3,992]	0,854	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 2	2,178 [-2,770; 7,125]	0,234	--	2,178 [-2,303; 6,466]	0,214	--	--
0 vs. 3	1,379 [-3,669; 6,429]	0,459	--	1,379 [-3,585; 6,103]	0,431	--	--
0 vs. 4	0,408 [-4,825; 5,641]	0,830	--	0,408 [-5,996; 5,295]	0,857	--	--
2 vs. 3	-0,799 [-5,252; 3,654]	0,631	--	-0,799 [-5,273; 3,527]	0,622	--	--
2 vs. 4	-1,770 [-6,473; 2,933]	0,305	--	-1,770 [-7,542; 2,515]	0,255	--	--
3 vs. 4	-0,971 [-5,779; 3,836]	0,581	--	-0,971 [-6,878; 3,403]	0,552	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 2	3,847 [-6,893; 14,586]	0,331	--	3,847 [-5,294; 14, 303]	0,299	--	--
0 vs. 3	-1,305 [-12,371; 9,761]	0,748	--	-1,305 [-12,299; 10,486]	0,764	--	--
0 vs. 4	-0,387 [-11,665; 10,892]	0,925	--	-0,387 [-11,167; 10,440]	0,936	--	--
2 vs. 3	-5,152 [-13,559; 3,256]	0,102	--	-5,152 [-14,080; 2,561]	0,102	--	--
2 vs. 4	-4,233 [-13,011; 4,544]	0,190	--	-4,233 [-13,565; 3,828]	0,175	--	--
3 vs. 4	0,919 [-8,261; 10,098]	0,784	--	0,919 [-9,360; 10,464]	0,783	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 2	1,688 [-9,052; 12,428]	0,668	--	1,688 [-7,681; 11,790]	0,626	--	--
0 vs. 3	2,671 [-8,395; 13,737]	0,512	--	2,671 [-8,044; 14,505]	0,483	--	--
0 vs. 4	4,669 [-6,610; 15, 947]	0,261	--	4,669 [-5,952; 16,753]	0,253	--	--
2 vs. 3	0,984 [-7,424; 9,391]	0,752	--	0,984 [-7,195; 9,094]	0,763	--	--
2 vs. 4	2,981 [-5,797; 11,759]	0,354	--	2,981 [-5,085; 12,159]	0,375	--	--
3 vs. 4	1,998 [-7,182; 11,177]	0,552	--	1,998 [-7,498; 11,240]	0,584	--	--

Gruppe × KV »Freude an der CM-Modifikation«

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht zu	1 = Trifft eher nicht zu
2 = Teils, teils	3 = Trifft eher zu
4 = Trifft völlig zu	

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-2,923 [-10,609; 4,763]	0,244	--	-2,923 [-8,571; 4,686]	0,310	--	--
0 vs. 2	-2,026 [-8,891; 4,839]	0,309	--	-2,026 [-6,895; 3,810]	0,429	--	--
0 vs. 3	-2,671 [-9,657; 4,314]	0,175	--	-2,671 [-7,370; 3,477]	0,240	--	--
0 vs. 4	-6,903 [-18,351; 4,545]	0,072	--	-6,903 [-15,792; 2,861]	0,072	--	--
1 vs. 2	0,897 [-5,476; 7,270]	0,679	--	0,897 [-4,923; 6,175]	0,642	--	--
1 vs. 3	0,252 [-5,865; 6,369]	0,902	--	0,252 [-5,217; 5,098]	0,892	--	--
1 vs. 4	-3,980 [-15,556; 7,597]	0,298	--	-3,980 [-14,284; 5,609]	0,284	--	--
2 vs. 3	-0,645 [-4,446; 3,156]	0,629	--	-0,645 [-4,501; 2,834]	0,634	--	--
2 vs. 4	-4,877 [-15,847; 6,093]	0,172	--	-4,877 [-13,813; 3,960]	0,157	--	--
3 vs. 4	-4,231 [-15,122; 6,659]	0,224	--	-4,231 [-12,898; 4,634]	0,203	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	0,077 [-7,609; 7,763]	0,975	--	0,077 [-6,955; 6,032]	0,989	--	--
0 vs. 2	1,240 [-5,625; 8,106]	0,525	--	1,240 [-4,748; 6,257]	0,564	--	--
0 vs. 3	0,412 [-6,573; 7,397]	0,820	--	0,412 [-5,801; 4,912]	0,879	--	--
0 vs. 4	1,014 [-10,434; 12,462]	0,780	--	1,014 [-9,542; 10,028]	0,894	--	--
1 vs. 2	1,164 [-5,209; 7,536]	0,591	--	1,164 [-4,869; 6,732]	0,558	--	--
1 vs. 3	0,335 [-5,782; 6,452]	0,870	--	0,335 [-5,463; 5,328]	0,868	--	--
1 vs. 4	0,937 [-10,640; 12,514]	0,804	--	0,937 [-8,728; 10,061]	0,860	--	--
2 vs. 3	-0,828 [-4,629; 2,972]	0,535	--	-0,828 [-5,072; 2,810]	0,492	--	--
2 vs. 4	-0,227 [-11,197; 10,743]	0,948	--	-0,227 [-9,835; 7,720]	0,884	--	--
3 vs. 4	0,602 [-10,289; 11,493]	0,859	--	0,602 [-8,764; 8,773]	0,884	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,462 [-15,445; 14,522]	0,927	--	-0,462 [-14,667; 13,474]	0,951	--	--
0 vs. 2	-1,805 [-15,310; 11,700]	0,662	--	-1,805 [-10,567; 11,286]	0,736	--	--
0 vs. 3	-5,880 [-19,488; 7,729]	0,177	--	-5,880 [-15,861; 7,981]	0,206	--	--
0 vs. 4	-3,889 [-21,154; 13,377]	0,493	--	-3,889 [-18,972; 12,250]	0,484	--	--
1 vs. 2	-1,343 [-12,710; 10,023]	0,729	--	-1,343 [-11,715; 10,033]	0,817	--	--
1 vs. 3	-5,418 [-17,032; 6,196]	0,177	--	-5,418 [-16,266; 6,057]	0,193	--	--
1 vs. 4	-3,427 [-19,846; 12,991]	0,534	--	-3,427 [-19,780; 12,419]	0,481	--	--
2 vs. 3	-4,075 [-12,419; 4,269]	0,168	--	-4,075 [-12,891; 3,580]	0,158	--	--
2 vs. 4	-2,084 [-16,849; 12,681]	0,666	--	-2,084 [-17,380; 9,748]	0,543	--	--
3 vs. 4	1,991 [-12,940; 16,941]	0,685	--	1,991 [-11,852; 14,315]	0,786	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-3,462 [-18,445; 11,522]	0,481	--	-3,462 [-19,487; 8,962]	0,433	--	--
0 vs. 2	-2,338 [-15,843; 11,167]	0,572	--	-2,338 [-16,129; 6,767]	0,538	--	--
0 vs. 3	-5,713 [-19,322; 7,896]	0,189	--	-5,713 [-20,019; 2,778]	0,083	--	--
0 vs. 4	1,778 [-15,488; 19,043]	0,753	--	1,778 [-16,889; 13,972]	0,876	--	--
1 vs. 2	1,123 [-10,243; 12,490]	0,772	--	1,123 [-10,115; 11,181]	0,822	--	--
1 vs. 3	-2,251 [-13,865; 9,362]	0,572	--	-2,251 [-14,613; 7,390]	0,532	--	--
1 vs. 4	5,239 [-11,179; 21,658]	0,344	--	5,239 [-11,470; 18,077]	0,407	--	--
2 vs. 3	-3,375 [-11,719; 4,969]	0,252	--	-3,375 [-12,116; 3,820]	0,232	--	--
2 vs. 4	4,116 [-10,649; 18,881]	0,398	--	4,116 [-10,573; 14,690]	0,471	--	--
3 vs. 4	7,491 [-7,440; 22,421]	0,136	--	7,491 [-7,806; 18,426]	0,133	--	--

Gruppe × KV »Absorbiertheit durch Faszination an der Modifikation«

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht zu	1 = Trifft eher nicht zu
2 = Teils, teils	3 = Trifft eher bis trifft völlig zu (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	1,760 [-2,278; 5,798]	0,245	--	1,760 [-2,453; 5,555]	0,272	--	--
0 vs. 2	0,282 [-4,387; 4,951]	0,869	--	0,282 [-5,060; 4,267]	0,937	--	--
0 vs. 3	-2,618 [-10,536; 5,300]	0,350	--	-2,618 [-9,817; 3,864]	0,311	--	--
1 vs. 2	-1,478 [-5,887; 2,932]	0,362	--	-1,478 [-6,411; 2,469]	0,303	--	--
1 vs. 3	-4,278 [-12,202; 3,446]	0,119	--	-4,278 [-11,504; 2,223]	0,081	--	--
2 vs. 3	-2,900 [-10,944; 5,144]	0,311	--	-2,900 [-9,975; 3,900]	0,319	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-1,436 [-5,474; 2,602]	0,343	--	-1,436 [-4,981; 2,431]	0,321	--	--
0 vs. 2	1,035 [-3,635; 5,704]	0,547	--	1,035 [-3,069; 6,192]	0,507	--	--
0 vs. 3	-3,665 [-11,584; 4,253]	0,196	--	-3,665 [-11,173; 2,689]	0,152	--	--
1 vs. 2	2,470 [-1,939; 6,880]	0,131	--	2,470 [-1,670; 7,106]	0,108	--	--
1 vs. 3	-2,230 [-10,054; 5,594]	0,415	--	-2,230 [-9,838; 3,600]	0,361	--	--
2 vs. 3	-4,700 [-12,744; 3,344]	0,107	--	-4,700 [-12,675; 1,850]	0,066	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	1,845 [-5,942; 9,633]	0,525	--	1,845 [-6,374; 9,649]	0,500	--	--
0 vs. 2	-3,188 [-12,737; 6,361]	0,367	--	-3,188 [-12,017; 7,050]	0,379	--	--
0 vs. 3	-0,788 [-15,793; 14,217]	0,878	--	-0,788 [-13,640; 10,110]	0,826	--	--
1 vs. 2	-5,033 [-14,084; 4,018]	0,135	--	-5,033 [-13,848; 4,493]	0,144	--	--
1 vs. 3	-2,633 [-17,423; 12,156]	0,601	--	-2,633 [-16,469; 8,063]	0,533	--	--
2 vs. 3	2,400 [-13,048; 17,848]	0,656	--	2,400 [-13,150; 14,250]	0,696	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-4,271 [-12,059; 3,516]	0,144	--	-4,271 [-12,081; 2,648]	0,132	--	--
0 vs. 2	-1,379 [-10,927; 8,170]	0,695	--	-1,379 [-11,388; 6,845]	0,710	--	--
0 vs. 3	-3,979 [-18,983; 11,026]	0,443	--	-3,979 [-17,983; 8,174]	0,424	--	--
1 vs. 2	2,893 [-6,159; 11,944]	0,387	--	2,893 [-6,022; 11,437]	0,386	--	--
1 vs. 3	0,293 [-14,497; 15,082]	0,953	--	0,293 [-12,937; 11,722]	0,964	--	--
2 vs. 3	-2,600 [-18,048; 12,848]	0,630	--	-2,600 [-16,300; 10,000]	0,629	--	--

Gruppe × KV »Langeweile bei der Modifikation« (umgepolt)

Faktorstufen der KV

0 = Trifft überhaupt nicht zu
1 = Trifft eher nicht zu
2 = Teils, teils
3 = Trifft eher bis trifft völlig zu (zusammengefasst)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-0,412 [-6,485; 5,661]	0,853	0,970	-0,412 [-6,163; 4,902]	0,803	--	--
0 vs. 2	-0,072 [-5,268; 5,125]	0,970	0,970	-0,072 [-4,956; 4,315]	0,991	--	--
0 vs. 3	-5,414 [-12,819; 1,991]	0,050	0,105	-5,414 [-13,071; 0,790]	0,026	0,017	--
1 vs. 2	0,341 [-3,972; 4,654]	0,830	0,970	0,341 [-3,451; 4,144]	0,760	--	--
1 vs. 3	-5,002 [-11,914; 1,910]	0,052	0,105	-5,002 [-12,303; 0,784]	0,034	0,025	--
2 vs. 3	-5,343 [-11,552; 0,867]	0,022	0,105	-5,343 [-12,093; -0,222]	0,007**	0,008	0,392

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	0,496 [-5,577; 6,569]	0,824	--	0,496 [-4,865; 5,548]	0,798	--	--
0 vs. 2	-0,723 [-5,919; 4,473]	0,700	--	-0,723 [-5,630; 3,651]	0,686	--	--
0 vs. 3	-1,881 [-9,286; 5,525]	0,487	--	-1,881 [-8,810; 4,890]	0,450	--	--
1 vs. 2	-1,219 [-5,532; 3,093]	0,444	--	-1,219 [-5,141; 2,582]	0,419	--	--
1 vs. 3	-2,377 [-9,289; 4,535]	0,348	--	-2,377 [-9,278; 3,922]	0,306	--	--
2 vs. 3	-1,157 [-7,367; 5,052]	0,601	--	-1,157 [-7,178; 4,409]	0,549	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-5,329 [-14,364; 3,706]	0,114	0,227	-5,329 [-14,575; 4,946]	0,172	--	--
0 vs. 2	-4,288 [-13,082; 4,506]	0,189	0,227	-4,288 [-12,559; 5,472]	0,229	--	--
0 vs. 3	-11,418 [-11,418; -23,488]	0,013	0,076	-11,418 [-21,715; -0,126]	0,010	0,008	--
1 vs. 2	1,041 [-7,005; 9,087]	0,729	0,729	1,041 [-6,435; 8,694]	0,728	--	--
1 vs. 3	-6,089 [-17,720; 5,542]	0,154	0,227	-6,089 [-16,802; 3,773]	0,137	--	--
2 vs. 3	-7,130 [-18,594; 4,335]	0,092	0,227	-7,130 [-17,385; 2,685]	0,51	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	1,287 [-7,748; 10,322]	0,699	--	1,287 [-10,095; 9,883]	0,731	--	--
0 vs. 2	-3,014 [-11,808; 5,780]	0,355	--	-3,014 [-13,706; 4,683]	0,315	--	--
0 vs. 3	-2,351 [-14,421; 9,719]	0,592	--	-2,351 [-13,823; 8,608]	0,547	--	--
1 vs. 2	-4,302 [-12,348; 3,745]	0,154	--	-4,302 [-12,013; 3,185]	0,125	--	--
1 vs. 3	-3,639 [-15,270; 7,992]	0,390	--	-3,639 [-14,376; 6,996]	0,353	--	--
2 vs. 3	0,663 [-10,801; 12,127]	0,873	--	0,663 [-9,693; 10,630]	0,842	--	--

Gruppe × KV »Große Mühe bei der Modifikation«

Faktorstufen der KV	
0 = Trifft überhaupt nicht zu	1 = Trifft eher nicht zu
2 = Teils, teils	3 = Trifft eher zu
4 = Trifft völlig zu	

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	< 0,001 [-11,685; 11,685]	1,000	1,000	< 0,001 [-7,800; 9,550]	0,945	--	--
0 vs. 2	-0,244 [-12,262; 11,774]	0,934	1,000	-0,244 [-5,999; 7,735]	0,988	--	--
0 vs. 3	-3,339 [-15,156; 8,478]	0,294	0,420	-3,339 [-8,975; 4,800]	0,305	--	--
0 vs. 4	-7,517 [-19,577; 4,544]	0,057	0,143	-7,517 [-17,042; 2,942]	0,060	--	--
1 vs. 2	-0,244 [-6,622; 6,135]	0,907	1,000	-0,244 [-5,628; 5,444]	0,932	--	--
1 vs. 3	-3,339 [-9,954; 3,277]	0,137	0,228	-3,339 [-8,978; 2,545]	0,140	--	--
1 vs. 4	-7,517 [16,573; 1,539]	0,018	0,071	-7,517 [-17,492; 1,550]	0,026	0,015	--
2 vs. 3	-3,095 [-6,857; 0,667]	0,021	0,071	-3,095 [-6,761; 0,373]	0,016	0,010	--
2 vs. 4	-7,273 [-15,062; 0,516]	0,009	0,071	-7,273 [-16,337; -0,0288]	0,006	0,005	--
3 vs. 4	-4,178 [-12,118; 3,763]	0,114	0,028	-4,178 [-13,093; 3,084]	0,136	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			***bbmcppb***			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-2,000 [-13,685; 9,685]	0,559	--	-2,000 [-10,2000; 6,300]	0,531	--	--
0 vs. 2	0,110 [-11,908; 12,128]	0,970	--	0,110 [-6,012; 8,165]	0,903	--	--
0 vs. 3	-1,758 [-13,575; 10,059]	0,566	--	-1,758 [-8,786; 6,040]	0,562	--	--
0 vs. 4	0,183 [-11,877; 12,244]	0,959	--	0,183 [-11,033; 10,625]	0,930	--	--
1 vs. 2	2,110 [-4,268; 8,289]	0,317	--	2,110 [-3,013; 7,979]	0,272	--	--
1 vs. 3	0,242 [-6,374; 6,858]	0,912	--	0,242 [-5,242; 6,362]	0,893	--	--
1 vs. 4	2,182 [-6,873; 11,239]	0,469	--	2,182 [-8,875; 11,150]	0,501	--	--
2 vs. 3	-1,868 [-5,630; 1,894]	0,160	--	-1,868 [-5,999; 1,972]	0,151	--	--
2 vs. 4	0,073 [-7,716; 7,862]	0,976	--	0,073 [-9,844; 8,644]	0,963	--	--
3 vs. 4	1,941 [-5,999; 9,882]	0,450	--	1,941 [-7,986; 10,521]	0,548	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-1,100 [-20,471; 18,271]	0,850	0,850	-1,100 [-13,600; 14,300]	0,840	--	--
0 vs. 2	-2,505 [-21,617; 16,607]	0,635	0,839	-2,505 [-12,144; 10,777]	0,597	--	--
0 vs. 3	-10,216 [-29,266; 8,835]	0,088	0,221	-10,216 [-20,809; 3,713]	0,046	0,015	--
0 vs. 4	-12,217 [-36,275; 11,842]	0,125	0,221	-12,217 [-28,667; 6,675]	0,089	--	--
1 vs. 2	-1,405 [-11,584; 8,774]	0,680	0,839	-1,405 [-10,897; 7,867]	0,704	--	--
1 vs. 3	-9,116 [-20,137; 1,906]	0,019	0,096	-9,116 [-18,563; 1,510]	0,016	0,010	--
1 vs. 4	-11,117 [-31,958; 9,725]	0,109	0,221	-11,117 [-27,683; 6,700]	0,070	--	--
2 vs. 3	-7,710 [-15,408; -0,013]	0,005	0,054	-7,710 [-15,025; -0,295]	0,005**	0,005	0,334
2 vs. 4	-9,712 [-29,822; 10,399]	0,133	0,221	-9,712 [-25,232; 5,558]	0,080	--	--
3 vs. 4	-2,001 [-22,333; 18,331]	0,753	0,837	-2,001 [-17,842; 12,423]	0,682	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-2,700 [-22,071; 16,671]	0,644	0,974	-2,700 [-16,000; 11,600]	0,637	--	--
0 vs. 2	0,172 [-18,940; 19,283]	0,974	0,974	0,172 [-9,890; 13,100]	0,895	--	--
0 vs. 3	-6,139 [-25,190; 12,911]	0,278	0,974	-6,139 [-17,392; 5,913]	0,216	--	--
0 vs. 4	-2,117 [-26,175; 21,942]	0,783	0,974	-2,117 [-18,500; 18,283]	0,834	--	--
1 vs. 2	2,872 [-7,308; 13,051]	0,401	0,974	2,872 [-5,733; 12,021]	0,381	--	--
1 vs. 3	-3,439 [-14,461; 7,582]	0,362	0,974	-3,439 [-13,827; 6,702]	0,354	--	--
1 vs. 4	0,583 [-20,258; 21,425]	0,930	0,974	0,583 [-14,567; 18,700]	0,911	--	--
2 vs. 3	-6,311 [-14,009; 1,386]	0,022	0,217	-6,311 [-14,220; 0,818]	0,018	0,005	--
2 vs. 4	-2,288 [-22,399; 17,822]	0,711	0,974	-2,288 [-15,952; 15,604]	0,703	--	--
3 vs. 4	4,023 [-16,310; 24,355]	0,530	0,974	4,023 [-9,361; 22,631]	0,453	--	--

Gruppe × KV »Angemessenheit des Zeitrahmens für die CM-Modifikation«

Faktorstufen der KV

0 = Die Zeit war zu lang
1 = Die Zeit hat genau ausgereicht
2 = Ich hätte noch bis zu 5 Minuten mehr gebraucht
3 = Ich hätte noch 5 bis 10 Minuten mehr gebraucht
4 = Ich hätte noch 10 bis > 15 Minuten mehr gebraucht (zus.gef.)

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-0,993 [-5,250; 3,264]	0,509	0,565	-0,993 [-5,571; 2,778]	0,446	--	--
0 vs. 2	0,052 [-3,978; 4,082]	0,970	0,970	0,052 [-4,527; 4,111]	0,989	--	--
0 vs. 3	-4,940 [-11,624; 1,745]	0,033	0,110	-4,940 [-10,713; 1,574]	0,029	0,010	--
0 vs. 4	1,810 [-5,295; 8,915]	0,377	0,498	1,810 [-10,931; 10,880]	0,608	--	--
1 vs. 2	1,045 [-2,529; 4,619]	0,398	0,498	1,045 [-3,028; 5,213]	0,472	--	--
1 vs. 3	-3,947 [-10,423; 2,529]	0,073	0,182	-3,947 [-9,024; 2,168]	0,075	--	--
1 vs. 4	2,803 [-4,379; 9,985]	0,172	0,345	2,803 [-10,830; 11,379]	0,452	--	--
2 vs. 3	-4,992 [-11,345; 1,361]	0,023	0,110	-4,992 [-10,976; 0,937]	0,028	0,005	--
2 vs. 4	1,758 [-5,643; 9,159]	0,356	0,498	1,758 [-10,837; 10,952]	0,617	--	--
3 vs. 4	6,750 [-1,243; 14,743]	0,015	0,110	6,750 [-6,694; 15,472]	0,138	--	--

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	p_{krit}	r_e
0 vs. 1	-0,863 [-5,121; 3,394]	0,566	--	-0,863 [-4,816; 3,191]	0,589	--	--
0 vs. 2	-1,080 [-5,110; 2,950]	0,439	--	-1,080 [-5,559; 3,669]	0,561	--	--
0 vs. 3	-0,977 [-7,662; 5,708]	0,659	--	-0,977 [-6,144; 5,454]	0,722	--	--
0 vs. 4	-2,894 [-9,999; 4,212]	0,173	--	-2,894 [-16,375; 5,611]	0,302	--	--
1 vs. 2	-0,217 [-3,791; 3,357]	0,860	--	-0,217 [-4,341; 4,073]	0,936	--	--
1 vs. 3	-0,114 [-6,590; 6,362]	0,957	--	-0,114 [-5,463; 5,984]	0,956	--	--
1 vs. 4	-2,030 [-9,212; 5,152]	0,306	--	-2,030 [-15,148; 5,947]	0,437	--	--
2 vs. 3	0,103 [-6,249; 6,456]	0,960	--	0,103 [-5,460; 6,587]	0,919	--	--
2 vs. 4	-1,813 [-9,215; 5,588]	0,342	--	-1,813 [-14,524; 6,980]	0,462	--	--
3 vs. 4	-1,917 [-9,909; 6,076]	0,442	--	-1,917 [-15,333; 7,556]	0,458	--	--

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Haupteffekte KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	-8,491 [-15,514; -1,467]	< 0,001	0,004**	-8,491 [-15,992; -2,203]	0,001***	0,015	0,393
0 vs. 2	-12,082 [-27,071; 2,907]	0,021	0,041*	-12,082 [-24,857; -0,455]	0,003**	0,025	0,463
0 vs. 3	-10,907 [-26,538; 4,723]	0,041	0,068	-10,907 [-23,9781; 2,435]	0,024**	0,030	0,414
0 vs. 4	3,593 [-3,413; 10,598]	0,128	0,183	3,593 [-5,148; 13,759]	0,271	0,035	--
1 vs. 2	-3,591 [-18,565; 11,382]	0,457	0,571	-3,591 [-15,988; 7,173]	0,379	0,040	--
1 vs. 3	-2,417 [-18,033; 13,200]	0,630	0,700	-2,417 [-15,957; 9,957]	0,591	0,045	--
1 vs. 4	12,083 [5,150; 19,017]	< 0,001	< 0,001***	12,083 [2,689; 21,220]	< 0,001***	0,010	0,567
2 vs. 3	1,175 [-18,197; 20,546]	0,855	0,855	1,175 [-15,175; 18,048]	0,816	0,050	--
2 vs. 4	15,675 [0,779; 30,570]	0,004	0,013*	15,675 [2,825; 30,421]	< 0,001***	0,005	0,608
3 vs. 4	14,500 [-1,025; 30,025]	0,009	0,022*	14,500 [0,889; 28,167]	0,003**	0,020	0,566

Interaktionseffekte Gruppe × KV

	bbmcp			*bbmcppb*			
	Mγ-Differenz [95%-KI]	***p*-Wert**	**α-F-K.**	**Mγ-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**r_e**
0 vs. 1	0,157 [-6,866; 7,181]	0,949	--	0,157 [-7,892; 6,884]	0,991	--	--
0 vs. 2	-4,696 [-19,684; 10,293]	0,334	--	-4,696 [-16,676; 7,329]	0,321	--	--
0 vs. 3	1,241 [-14,390; 16,871]	0,804	--	1,241 [-12,065; 13,935]	0,844	--	--
0 vs. 4	-3,593 [-10,598; 3,413]	0,128	--	-3,593 [-9,917; 8,074]	0,426	--	--
1 vs. 2	-4,853 [-19,827; 10,120]	0,318	--	-4,853 [-16,745; 6,920]	0,295	--	--
1 vs. 3	1,083 [-14,533; 16,700]	0,828	--	1,083 [-11,891; 13,194]	0,842	--	--
1 vs. 4	-3,750 [-10,684; 3,184]	0,111	--	-3,750 [-9,076; 7,773]	0,414	--	--
2 vs. 3	5,937 [-13,435; 25,308]	0,359	--	5,937 [-11,397; 20,619]	0,345	--	--
2 vs. 4	1,103 [-13,792; 15,998]	0,814	--	1,103 [-11,278; 15,889]	0,641	--	--
3 vs. 4	-4,833 [-20,358; 10,692]	0,333	--	-4,833 [-16,611; 11,000]	0,486	--	--

Anlage 10: Ergebnisse der einfaktoriellen ANCOVA

Gruppe × KV »Alter«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
15,000	44	29	0,375 [0,257; 0,511]	0,080	0,025	0,342	0,066	0,592
16,000	92	76	0,381 [0,301; 0,468]	0,008**	0,010	0,347	0,068	0,585
17,000	111	103	0,396 [0,323; 0,473]	0,009**	0,013	0,362	0,068	0,571
18,000	82	79	0,413 [0,328; 0,504]	0,060	0,017	0,380	0,066	0,554
19,000	35	32	0,446 [0,315; 0,584]	0,450	0,050	0,402	0,088	0,511

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
15,000	44	29	1,622 [-1,180; 4,424]	0,105	17,167	111	103	1,750 [-0,093; 3,593]	0,007[a]
15,167	44	29	1,622 [-1,180; 4,424]	0,105	17,333	72	74	1,908 [-0,465; 4,287]	0,027[a]
15,333	44	29	1,622 [-1,180; 4,424]	0,105	17,500	72	74	1,908 [-0,465; 4,287]	0,027[a]
15,500	44	29	1,622 [-1,180; 4,424]	0,105	17,667	72	74	1,908 [-0,465; 4,287]	0,027[a]
15,667	44	29	1,622 [-1,180; 4,424]	0,105	17,833	82	79	1,604 [-0,691; 3,899]	0,048[a]
15,833	92	76	1,821 [0,174; 3,469]	0,002**	18,000	82	79	1,604 [-0,691; 3,899]	0,048[a]
16,000	92	76	1,821 [0,174; 3,469]	0,002**	18,167	82	79	1,604 [-0,691; 3,899]	0,048[a]
16,167	92	76	1,821 [0,174; 3,469]	0,002**	18,333	34	32	0,973 [-3,143; 5,088]	0,501
16,333	87	76	1,774 [0,099; 3,448]	0,003**	18,500	34	32	0,973 [-3,143; 5,088]	0,501
16,500	87	76	1,774 [0,099; 3,448]	0,003**	18,667	34	32	0,973 [-3,143; 5,088]	0,501
16,667	87	76	1,774 [0,099; 3,448]	0,003**	18,833	35	32	0,843 [-2,939; 4,625]	0,526
16,833	111	103	1,750 [-0,093; 3,593]	0,007[a]	19,00	35	32	0,843 [-2,939; 4,625]	0,526
17,000	111	103	1,750 [-0,093; 3,593]	0,007[a]	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
15,000	44	29	0,337 [0,230; 0,511]	0,080	0,017	0,349	0,057	0,594
16,000	92	76	0,398 [0,317; 0,465]	0,030	0,010	0,364	0,069	0,568
17,000	111	103	0,408 [0,335; 0,486]	0,030	0,013	0,374	0,069	0,557
18,000	82	79	0,439 [0,353; 0,528]	0,190	0,025	0,400	0,077	0,523
19,000	35	32	0,478 [0,344; 0,615]	0,770	0,050	0,430	0,096	0,474

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
15,000	44	29	4,515 [-2,673; 11,703]	0,078	17,167	111	103	3,230 [-0,374; 6,837]	0,011[a]
15,167	44	29	4,515 [-2,673; 11,703]	0,078	17,333	72	74	2,771 [-1,303; 6,845]	0,054
15,333	44	29	4,515 [-2,673; 11,703]	0,078	17,500	72	74	2,771 [-1,303; 6,845]	0,054
15,500	44	29	4,515 [-2,673; 11,703]	0,078	17,667	72	74	2,771 [-1,303; 6,845]	0,054
15,667	44	29	4,515 [-2,673; 11,703]	0,078	17,833	82	79	2,070 [-1,833; 5,967]	0,131
15,833	92	76	3,335 [-0,949; 7,620]	0,028[a]	18,000	82	79	2,070 [-1,833; 5,967]	0,131
16,000	92	76	3,335 [-0,949; 7,620]	0,028[a]	18,167	82	79	2,070 [-1,833; 5,967]	0,131
16,167	92	76	3,335 [-0,949; 7,620]	0,028[a]	18,333	34	32	1,200 [-4,431; 6,831]	0,544
16,333	87	76	3,195 [-1,154; 7,549]	0,038[a]	18,500	34	32	1,200 [-4,431; 6,831]	0,544
16,500	87	76	3,195 [-1,154; 7,549]	0,038[a]	18,667	34	32	1,200 [-4,431; 6,831]	0,544
16,667	87	76	3,195 [-1,154; 7,549]	0,038[a]	18,833	35	32	1,105 [-4,010; 6,219]	0,539
16,833	111	103	3,230 [-0,374; 6,837]	0,011[a]	19,00	35	32	1,105 [-4,010; 6,219]	0,539
17,000	111	103	3,230 [-0,374; 6,837]	0,011[a]	[a] p_{krit} = 0,004				

Gruppe × Skalenindex »Selbstwirksamkeit Computerumgang«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	n1	n2	M-Diff. [95%-KI]	*p*-Wert[a]	M-Diff. [95%-KI]	*p*-Wert	p_{krit}	UG<VG	UG=VG	UG>VG
1,714	15	26	1,064 [-3,723; 7,834]	0,307	0,391 [0,224; 0,588]	0,290	0,050	0,354	0,074	0,572
2,571	65	55	1,044 [-1,132; 3,220]	0,210	0,436 [0,337; 0,540]	0,240	0,017	0,400	0,073	0,528
3,000	68	68	1,833 [-0,134; 3,801]	0,017*	0,380 [0,292; 0,477]	0,020	0,010	0,346	0,067	0,587
3,429	57	58	1,836 [-0,359; 4,030]	0,031*	0,381 [0,284; 0,487]	0,030	0,013	0,347	0,067	0,586
4,000	24	29	1,730 [-1,958; 5,419]	0,203	0,403 [0,258; 0,567]	0,260	0,025	0,362	0,082	0,556

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,307, p = 0,263, p = 0,076, p = 0,076, p = 0,263.

ancdet									
X	n1	n2	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert	X	n1	n2	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert
1,571	9	20	2,619 [-5,048; 10,286]	0,354	2,887	69	69	1,581 [-0,511; 3,674]	0,033[a]
1,673	15	26	2,056 [-3,489; 7,600]	0,360	2,988	68	68	1,833 [-0,322; 3,989]	0,168
1,774	15	33	1,794 [-3,607; 7,195]	0,360	3,089	67	74	1,618 [-0,287; 3,524]	0,017[a]
1,875	22	32	1,821 [-2,748; 6,391]	0,265	3,190	67	70	1,631 [-0,198; 3,460]	0,012[a]
1,976	30	40	2,375 [-1,644; 6,394]	0,101	3,291	55	59	1,912 [-0,220; 4,044]	0,012[a]
2,077	35	46	2,310 [-1,335; 5,954]	0,079	3,393	57	58	1,836 [-0,546; 4,217]	0,031[a]
2,179	34	46	2,065 [-1,540; 5,670]	0,110	3,494	62	58	1,724 [-0,462; 3,909]	0,027[a]
2,280	47	48	1,054 [-1,493; 3,601]	0,240	3,595	48	53	2,364 [-0,130; 4,857]	0,009[a]
2,381	54	54	1,206 [-1,287; 3,699]	0,170	3,696	40	47	2,736 [0,056; 5,415]	0,005[a]
2,482	54	59	1,017 [-1,439; 3,474]	0,239	3,798	31	47	2,385 [-1,291; 6,060]	0,074
2,583	65	55	1,044 [-1,325; 3,413]	0,210	3,899	31	40	2,566 [-1,182; 6,313]	0,059
2,685	67	63	1,134 [-1,097; 3,366]	0,149	4,000	24	29	1,730 [-2,048; 5,509]	0,203
2,786	76	73	1,616 [-0,444; 3,676]	0,027[a]	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert[a]**	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,714	15	26	2,417 [-4,490; 9,323]	0,322	0,426 [0,255; 0,616]	0,460	0,050	0,379	0,092	0,528
2,571	65	55	1,981 [-3,143; 7,105]	0,312	0,526 [0,352; 0,556]	0,370	0,025	0,414	0,077	0,510
3,000	68	68	3,810 [-0,699; 8,318]	0,030*	0,394 [0,304; 0,491]	0,040	0,010	0,361	0,067	0,573
3,429	57	58	3,652 [-0,779; 8,084]	0,033*	0,387 [0,289; 0,494]	0,040	0,013	0,356	0,062	0,582
4,000	24	29	3,105 [-3,945; 10,156]	0,235	0,391 [0,249; 0,554]	0,200	0,017	0,359	0,063	0,578

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,322, p = 0,322, p = 0,083, p = 0,083, p = 0,322.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,571	9	20	1,405 [-5,044; 7,853]	0,543	2,887	69	69	3,302 [-1,525; 8,129]	0,053
1,673	15	26	2,417 [-4,352; 9,186]	0,322	2,988	68	68	3,810 [-1,718; 8,741]	0,030[a]
1,774	15	33	1,905 [-5,176; 8,986]	0,360	3,089	67	74	3,748 [-0,734; 8,229]	0,019[a]
1,875	22	32	1,714 [-5,752; 9,180]	0,516	3,190	67	70	3,783 [-0,586; 8,151]	0,015[a]
1,976	30	40	1,250 [-5,937; 8,437]	0,621	3,291	55	59	3,774 [-0,563; 8,111]	0,015[a]
2,077	35	46	1,024 [-5,452; 7,499]	0,652	3,393	57	58	3,652 [-1,156; 8,461]	0,033[a]
2,179	34	46	0,721 [-5,517; 6,958]	0,742	3,494	62	58	3,482 [-1,158; 8,123]	0,035[a]
2,280	47	48	1,800 [-4,611; 8,211]	0,424	3,595	48	53	4,030 [-1,044; 9,105]	0,027[a]
2,381	54	54	1,059 [-4,826; 6,944]	0,607	3,696	40	47	5,273 [-0,186; 10,732]	0,009[a]
2,482	54	59	1,017 [-4,749; 6,774]	0,614	3,798	31	47	4,269 [-1,544; 10,081]	0,044[a]
2,583	65	55	1,981 [-3,598; 7,561]	0,312	3,899	31	40	4,162 [-1,782; 10,106]	0,053
2,685	67	63	1,972 [-2,897; 6,842]	0,249	4,000	24	29	3,105 [-4,315; 10,425]	0,235
2,786	76	73	3,035 [-1,458; 7,528]	0,056	[a] p_{krit} = 0,004				

Gruppe × Skalenindex »Interesse/Vergnügen bei der visuellen Auswertung«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,143	12	54	3,037 [-1,927; 8,000]	0,084	0,333 [0,173; 0,545]	0,130	0,013	0,309	0,049	0,642
1,857	35	61	0,920 [-2,345; 4,185]	0,449	0,449 [0,327; 0,577]	0,440	0,017	0,414	0,069	0,517
2,286	49	47	1,308 [-1,305; 3,921]	0,189	0,419 [0,311; 0,535]	0,180	0,010	0,382	0,073	0,545
2,571	45	34	0,763 [-1,388; 2,914]	0,347	0,451 [0,328; 0,579]	0,460	0,025	0,414	0,074	0,512
3,143	21	16	0,931 [-2,463; 4,325]	0,449	0,414 [0,248; 0,601]	0,380	0,050	0,369	0,089	0,542

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,322, p = 0,322, p = 0,083, p = 0,083, p = 0,322.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,143	12	54	3,037 [-1,443; 7,516]	0,084	2,304	57	47	1,362 [-1,267; 3,990]	0,143
1,232	15	62	3,488 [-1,071; 8,048]	0,052	2,393	57	41	0,966 [-1,604; 3,536]	0,286
1,321	23	60	2,894 [-1,598; 7,386]	0,080	2,482	51	42	1,266 [-1,060; 3,591]	0,125
1,411	23	59	2,984 [-1,490; 7,457]	0,071	2,571	45	34	0,763 [-1,538; 3,063]	0,347
1,500	30	65	3,034 [-0,615; 6,683]	0,025[a]	2,661	51	34	0,479 [-1,765; 2,724]	0,543
1,589	37	60	2,145 [-0,945; 5,235]	0,054	2,750	47	32	0,062 [-2,281; 2,405]	0,940
1,679	37	64	1,628 [-1,506; 4,762]	0,144	2,839	47	28	-0,082 [-2,859; 2,694]	0,933
1,768	39	67	1,058 [-2,363; 4,479]	0,381	2,929	40	29	-0,281 [-3,170; 2,608]	0,782
1,857	35	61	0,920 [-2,524; 4,364]	0,449	3,018	29	19	1,117 [-1,776; 4,010]	0,277
1,946	43	68	1,767 [-1,462; 4,996]	0,124	3,107	29	16	1,279 [-1,640; 0,220]	0,220
2,036	51	61	1,560 [-1,320; 4,439]	0,126	3,196	23	16	1,100 [-2,386; 4,586]	0,375
2,126	51	53	1,755 [-1,268; 4,777]	0,101	3,286	18	9	0,083 [-3,694; 3,861]	0,950
2,214	56	54	1,382 [-1,299; 4,064]	0,144	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,143	12	54	2,441 [-7,806; 12,688]	0,470	0,435 [0,265; 0,623]	0,520	0,025	0,392	0,086	0,522
1,857	35	61	0,239 [-5,377; 5,855]	0,909	0,506 [0,386; 0,625]	0,930	0,050	0,466	0,080	0,454
2,286	49	47	1,744 [-2,913; 6,401]	0,324	0,446 [0,336; 0,562]	0,370	0,017	0,409	0,075	0,516
2,571	45	34	3,158 [-2,132; 8,449]	0,117	0,411 [0,293; 0,541]	0,190	0,010	0,381	0,061	0,558
3,143	21	16	3,277 [-5,169; 11,723]	0,287	0,371 [0,214; 0,560]	0,190	0,013	0,339	0,063	0,598

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,143	12	54	2,441 [-6,845; 11,727]	0,470	2,304	57	47	2,520 [-2,376; 7,417]	0,145
1,232	15	62	2,760 [-4,876; 10,397]	0,323	2,393	57	41	2,046 [-2,982; 7,073]	0,248
1,321	23	60	3,178 [-4,876; 10,977]	0,258	2,482	51	42	3,352 [-1,739; 8,444]	0,064
1,411	23	59	3,715 [-4,055; 11,485]	0,187	2,571	45	34	3,158 [-2,517; 8,833]	0,117
1,500	30	65	3,838 [-2,980; 10,655]	0,119	2,661	51	34	3,067 [-2,452; 8,586]	0,117
1,589	37	60	2,816 [-3,367; 9,000]	0,200	2,750	47	32	2,041 [-3,648; 7,731]	0,309
1,679	37	64	1,461 [-4,970; 7,892]	0,519	2,839	47	28	2,019 [-3,701; 7,739]	0,317
1,768	39	67	0,468 [-4,988; 5,924]	0,807	2,929	40	29	1,921 [-4,342; 8,184]	0,384
1,857	35	61	0,239 [-5,740; 6,219]	0,909	3,018	29	19	4,988 [-2,552; 12,528]	0,068
1,946	43	68	1,476 [-3,691; 6,644]	0,417	3,107	29	16	4,726 [-3,315; 12,768]	0,104
2,036	51	61	2,038 [-2,962; 7,039]	0,247	3,196	23	16	3,533 [-5,880; 12,947]	0,294
2,126	51	53	2,055 [-2,957; 7,066]	0,245	3,286	18	9	3,405 [-7,300; 14,110]	0,375
2,214	56	54	1,706 [-3,005; 6,416]	0,303					

Gruppe × Skalenindex »Anstrengung/Wichtigkeit (bei) der visuellen Auswertung«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert[a]**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,000	13	33	1,810 [-4,766; 8,385]	0,418	0,401 [0,217; 0,618]	0,390	0,050	0,368	0,065	0,566
2,000	55	57	0,917 [-1,409; 3,243]	0,302	0,451 [0,348; 0,559]	0,380	0,013	0,412	0,078	0,510
2,200	70	60	0,563 [-1,577; 2,704]	0,491	0,476 [0,378; 0,575]	0,640	0,025	0,440	0,070	0,489
2,600	59	57	2,022 [-0,096; 4,141]	0,014*	0,366 [0,272; 0,471]	0,020	0,010	0,332	0,068	0,600
3,400	15	23	1,889 [-3,521; 7,298]	0,325	0,378 [0,219; 0,568]	0,220	0,017	0,336	0,084	0,580

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,491, p = 0,491, p = 0,491, p = 0,071, p = 0,491.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,000	13	33	1,810 [-4,357; 7,976]	0,418	2,300	59	67	0,889 [-1,383; 3,160]	0,266
1,100	13	41	1,493 [-4,491; 7,478]	0,491	2,400	71	65	1,120 [-1,140; 3,381]	0,159
1,200	16	40	1,308 [-3,141; 5,757]	0,414	2,500	49	65	1,730 [-0,494; 3,954]	0,029[a]
1,300	16	52	1,413 [-2,917; 5,742]	0,368	2,600	59	57	2,022 [-0,283; 4,328]	0,014[a]
1,400	27	51	1,008 [-2,592; 4,607]	0,430	2,700	49	59	2,091 [-0,304; 4,486]	0,015[a]
1,500	23	59	1,058 [-2,410; 4,525]	0,391	2,800	53	47	1,781 [-0,745; 4,306]	0,048[a]
1,600	45	52	0,378 [-2,380; 3,137]	0,696	2,900	44	48	2,017 [-0,729; 4,763]	0,040[a]
1,700	39	62	0,214 [-2,592; 3,019]	0,828	3,000	45	40	2,120 [-0,778; 5,018]	0,041[a]
1,800	49	57	0,670 [-1,844; 3,184]	0,448	3,100	27	40	2,574 [-0,915; 6,063]	0,043[a]
1,900	46	64	0,707 [-1,806; 3,220]	0,423	3,200	27	30	2,824 [-0,811; 6,458]	0,034[a]
2,000	55	57	0,917 [-1,609; 3,442]	0,302	3,300	15	30	2,889 [-2,033; 7,811]	0,119
2,100	52	70	0,443 [-2,001; 2,888]	0,605	3,400	15	23	1,889 [-3,425; 7,203]	0,325
2,200	70	60	0,563 [-1,771; 2,898]	0,491	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert[a]**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,000	13	33	0,921 [-6,913; 8,755]	0,729	0,470 [0,285; 0,663]	0,780	0,050	0,417	0,105	0,478
2,000	55	57	1,399 [-3,106; 5,904]	0,414	0,473 [0,368; 0,580]	0,630	0,017	0,436	0,074	0,490
2,200	70	60	0,000 [-4,422; 4,422]	1,000	0,514 [0,415; 0,611]	0,790	0,025	0,479	0,069	0,452
2,600	59	57	4,076 [-0,418; 8,569]	0,020*	0,389 [0,292; 0,495]	0,040	0,013	0,356	0,065	0,579
3,400	15	23	8,133 [-1,273; 17,540]	0,024*	0,280 [0,147; 0,467]	0,030	0,010	0,249	0,061	0,690

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,911, p = 0,691, p = 1,000, p = 0,059, p = 0,059.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,000	13	33	0,921 [-6,507; 8,348]	0,729	2,300	59	67	1,092 [-3,573; 5,757]	0,504
1,100	13	41	-0,169 [-7,753; 7,415]	0,950	2,400	71	65	1,391 [-3,189; 5,971]	0,387
1,200	16	40	0,383 [-6,528; 7,294]	0,876	2,500	49	65	3,045 [-2,256; 8,347]	0,105
1,300	16	52	-0,013 [-6,614; 6,589]	0,996	2,600	59	57	4,077 [-0,811; 8,962]	0,020[a]
1,400	27	51	-0,330 [-7,440; 6,780]	0,895	2,700	49	59	3,465 [-1,645; 8,575]	0,057
1,500	23	59	0,079 [-7,482; 7,640]	0,976	2,800	53	47	3,653 [-1,946; 9,253]	0,066
1,600	45	52	-0,403 [-5,903; 5,097]	0,835	2,900	44	48	4,057 [-1,979; 10,093]	0,059
1,700	39	62	-0,703 [-6,414; 5,007]	0,726	3,000	45	40	4,398 [-1,860; 10,656]	0,050[a]
1,800	49	57	0,839 [-4,316; 5,989]	0,643	3,100	27	40	6,015 [-0,695; 12,724]	0,016[a]
1,900	46	64	1,264 [-3,719; 6,247]	0,470	3,200	27	30	7,098 [0,077; 14,119]	0,007[a]
2,000	55	57	1,399 [-3,482; 6,280]	0,414	3,300	15	30	9,333 [0,521; 18,146]	0,010[a]
2,100	52	70	0,690 [-4,067; 5,448]	0,679	3,400	15	23	8,133 [-1,113; 17,380]	0,024
2,200	70	60	0,000 [-4,826; 4,826]	1,000	[a] p_{krit} = 0,004				

Gruppe × Skalenindex »Wahrgenommene Kompetenz bei der visuellen Auswertung«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	n1	n2	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert[a]	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert	p_{krit}	UG<VG	UG=VG	UG>VG
0,833	13	35	0,381 [-5,922; 6,684]	0,855	0,503 [0,311; 0,695]	0,980	0,050	0,462	0,084	0,455
1,833	54	63	2,128 [-0,227; 4,484]	0,020*	1,833 [0,286; 0,491]	0,040	0,013	0,350	0,066	0,584
2,167	62	62	1,053 [-1,189; 3,294]	0,221	0,437 [0,340; 0,540]	0,240	0,017	0,405	0,066	0,530
2,500	49	60	1,036 [-1,342; 3,414]	0,253	0,432 [0,328; 0,542]	0,230	0,025	0,399	0,065	0,536
3,333	15	24	3,146 [-1,986; 8,278]	0,089	0,276 [0,146; 0,460]	0,020	0,010	0,236	0,081	0,683

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,855, p = 0,997, p = 0,317, p = 0,317, p = 0,223.

ancdet									
X	n1	n2	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert	X	n1	n2	M-Differenz [95%-KI]	*p*-Wert
0,667	8	33	1,000 [-6,140; 8,140]	0,702	2,201	70	62	1,105 [-1,305; 3,516]	0,192
0,785	13	37	0,304 [-5,496; 6,105]	0,833	2,319	70	61	1,230 [-1,174; 3,633]	0,146
0,903	16	39	-0,700 [-5,360; 3,960]	0,674	2,438	67	64	1,021 [-1,318; 3,359]	0,214
1,021	25	39	0,133 [-4,099; 4,366]	0,929	2,556	55	64	1,237 [-1,237; 3,711]	0,156
1,139	25	45	-0,081 [-4,449; 4,286]	0,958	2,674	52	57	1,487 [-0,934; 3,907]	0,083
1,257	29	55	0,791 [-2,592; 4,174]	0,507	2,792	52	49	1,505 [-0,950; 3,960]	0,084
1,375	38	55	1,462 [-1,583; 4,507]	0,175	2,910	36	49	2,207 [-1,110; 5,524]	0,064
1,493	38	58	1,278 [-1,736; 4,291]	0,230	3,028	31	42	2,753 [-0,430; 5,936]	0,017[a]
1,611	52	66	1,375 [-1,325; 4,075]	0,149	3,146	31	34	2,868 [-0,343; 6,080]	0,016[a]
1,729	57	71	1,720 [-0,827; 4,266]	0,057	3,264	23	35	2,943 [-0,840; 6,725]	0,037[a]
1,847	71	63	1,779 [-0,439; 3,998]	0,024[a]	3,382	15	24	3,146 [-1,728; 8,020]	0,089
1,965	71	60	1,568 [-0,750; 3,886]	0,056	3,500	9	20	4,917 [-2,074; 11,907]	0,081
2,083	68	67	1,326 [-0,893; 3,546]	0,090	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert[a]**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
0,833	13	35	-1,492 [-7,165; 4,181]	0,459	0,577 [0,389; 0,745]	0,440	0,050	0,516	0,121	0,363
1,833	54	63	1,989 [-2,384; 6,363]	0,235	0,442 [0,341; 0,547]	0,290	0,017	0,405	0,073	0,522
2,167	62	62	1,000 [-3,307; 5,307]	0,544	0,467 [0,368; 0,569]	0,540	0,025	0,432	0,072	0,497
2,500	49	60	2,054 [-2,573; 6,681]	0,245	0,438 [0,334; 0,547]	0,270	0,013	0,403	0,069	0,528
3,333	15	24	-10,986 [1,148; 20,824]	0,006**	0,217 [0,095; 0,421]	0,008*	0,010	0,197	0,039	0,764

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,544, p = 0,408, p = 0,544, p = 0,408, p = 0,028*.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
0,667	8	33	-1,143 [-7,953; 5,667]	0,643	2,201	70	62	1,150 [-3,478; 5,779]	0,478
0,785	13	37	-1,662 [-7,221; 3,898]	0,404	2,319	70	61	1,355 [-3,324; 6,035]	0,408
0,903	16	39	-2,200 [-8,342; 3,942]	0,316	2,438	67	64	0,679 [-3,801; 5,159]	0,665
1,021	25	39	-1,333 [-7,815; 5,149]	0,560	2,556	55	64	3,098 [-1,898; 8,095]	0,079
1,139	25	45	-1,467 [-8,025; 5,092]	0,526	2,674	52	57	3,962 [-1,342; 9,267]	0,036[a]
1,257	29	55	0,785 [-5,758; 7,327]	0,733	2,792	52	49	4,079 [-1,245; 9,402]	0,032[a]
1,375	38	55	3,363 [-2,568; 9,295]	0,111	2,910	36	49	4,062 [-2,357; 10,480]	0,077
1,493	38	58	2,500 [-3,374; 8,374]	0,229	3,028	31	42	5,717 [-0,618; 12,051]	0,014[a]
1,611	52	66	1,150 [-3,791; 6,091]	0,506	3,146	31	34	5,766 [-0,418; 11,949]	0,012[a]
1,729	57	71	1,240 [-3,311; 5,791]	0,437	3,264	23	35	6,495 [-1,074; 14,065]	0,023[a]
1,847	71	63	2,546 [-1,930; 7,023]	0,106	3,382	15	24	10,986 [1,616; 20,356]	0,006[a]
1,965	71	60	2,452 [-1,946; 6,850]	0,114	3,500	9	20	10,810 [-3,342; 24,961]	0,060
2,083	68	67	2,099 [-2,598; 6,795]	0,203	[a] p_{krit} = 0,004				

Gruppe × Skalenindex »Schwierigkeiten bei der visuellen Auswertung«

a.) K-Wert$_{D\text{-}ELE}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert**[a]	**M-Diff. [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,222	22	24	0,482 [-4,091; 5,055]	0,773	0,451 [0,292; 0,620]	0,580	0,050	0,424	0,053	0,523
2,000	65	63	0,667 [-1,667; 3,000]	0,455	0,468 [0,370; 0,568]	0,540	0,025	0,434	0,067	0,499
2,444	71	64	0,937 [-1,210; 3,085]	0,256	0,456 [0,362; 0,554]	0,390	0,017	0,418	0,077	0,506
3,000	57	48	2,567 [0,459; 4,674]	0,002**	0,322 [0,229; 0,431]	0,002**	0,013	0,286	0,072	0,642
3,889	20	13	5,083 [1,448; 8,718]	0,001***	0,123 [0,044; 0,302]	< 0,001***	0,010	0,100	0,046	0,854

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,773, p = 0,569, p = 0,427, p = 0,005**, p = 0,004**.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,000	12	11	-0,411 [-6,335; 5,514]	0,845	2,625	82	54	1,487 [-0,789; 3,763]	0,065
1,125	22	14	0,257 [-4,902; 5,417]	0,888	2,750	74	53	1,689 [-0,629; 4,007]	0,040[a]
1,250	25	24	0,692 [-4,068; 5,452]	0,680	2,875	72	51	1,990 [-0,307; 4,286]	0,015[a]
1,375	35	28	0,079 [-3,718; 3,877]	0,952	3,000	57	48	2,567 [0,284; 4,849]	0,002***
1,500	39	38	-0,798 [-4,567; 2,970]	0,547	3,125	57	40	2,081 [-0,221; 4,383]	0,012[a]
1,625	47	42	-0,481 [-3,545; 2,582]	0,654	3,250	49	34	2,519 [0,028; 5,010]	0,006[a]
1,750	56	50	-0,220 [-3,339; 2,900]	0,841	3,375	49	28	3,335 [0,871; 5,799]	< 0,001***
1,875	60	58	0,639 [-2,061; 3,339]	0,499	3,500	45	27	3,314 [0,908; 5,720]	< 0,001***
2,000	65	63	0,067 [-1,882; 3,215]	0,455	3,625	41	18	3,413 [0,826; 6,001]	0,001***
2,125	71	65	0,886 [-1,570; 3,343]	0,304	3,750	34	14	3,591 [0,452; 6,730]	0,003**
2,250	74	64	0,384 [-1,944; 2,712]	0,637	3,875	28	13	4,500 [1,427; 7,573]	< 0,001***
2,375	77	55	0,790 [-1,637; 3,218]	0,353	4,000	18	10	5,083 [1,490; 8,677]	0,001***
2,500	77	60	0,897 [-1,316; 3,109]	0,248	[a] p_{krit} = 0,004				

b.) S-Wert$_{D\text{-}PRO}$

Bezugswerte			*ancova*		*ancovaWMW*					
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert[a]**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**p_{krit}**	**UG<VG**	**UG=VG**	**UG>VG**
1,222	22	24	0,607 [-6,450; 7,664]	0,814	0,497 [0,335; 0,660]	0,980	0,050	0,449	0,097	0,455
2,000	65	63	0,872 [-3,293; 5,036]	0,584	0,490 [0,392; 0,590]	0,860	0,025	0,451	0,080	0,470
2,444	71	64	2,366 [-2,010; 6,742]	0,160	0,443 [0,349; 0,541]	0,260	0,017	0,407	0,073	0,520
3,000	57	48	5,257 [0,276; 10,239]	0,007**	0,351 [0,254; 0,461]	0,009*	0,010	0,317	0,068	0,615
3,889	20	13	4,944 [-0,733; 10,622]	0,023*	0,260 [0,125; 0,462]	0,030	0,013	0,223	0,073	0,704

[a] Nach α-Fehler-Kontrolle: p = 0,814, p = 0,730, p = 0,267, p = 0,035*, p = 0,056.

ancdet									
X	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**	**X**	**n1**	**n2**	**M-Differenz [95%-KI]**	***p*-Wert**
1,000	12	11	-0,464 [-14,397; 13,468]	0,925	2,625	82	54	2,113 [-2,647; 6,872]	0,206
1,125	22	14	-0,743 [-12,212; 10,726]	0,855	2,750	74	53	3,237 [-1,924; 8,398]	0,076
1,250	25	24	1,017 [-6,377; 8,412]	0,696	2,875	72	51	3,828 [-1,440; 9,097]	0,041[a]
1,375	35	28	-0,619 [-7,805; 6,567]	0,806	3,000	57	48	5,257 [-0,138; 10,652]	0,007[a]
1,500	39	38	-1,080 [-6,859; 4,699]	0,594	3,125	57	40	4,950 [-0,706; 10,606]	0,015[a]
1,625	47	42	-0,610 [-5,817; 4,597]	0,738	3,250	49	34	5,912 [0,076; 11,749]	0,005[a]
1,750	56	50	-0,345 [-5,243; 4,553]	0,840	3,375	49	28	6,667 [0,508; 12,825]	0,004**
1,875	60	58	0,556 [-4,331; 5,442]	0,745	3,500	45	27	6,279 [-0,246; 12,803]	0,009[a]
2,000	65	63	0,872 [-3,677; 5,420]	0,584	3,625	41	18	5,900 [-0,624; 12,424]	0,015[a]
2,125	71	65	1,705 [-2,724; 6,135]	0,272	3,750	34	14	4,291 [-2,597; 11,179]	0,087
2,250	74	64	0,880 [-3,330; 5,091]	0,550	3,875	28	13	4,444 [-1,966; 10,853]	0,060
2,375	77	55	1,997 [-2,729; 6,724]	0,229	4,000	18	10	5,167 [0,004; 10,329]	0,014[a]
2,500	77	60	2,296 [-2,541; 7,132]	0,177	[a] p_{krit} = 0,004				