Blickbewegungen beim Lesen von Satellitenbildern – eine vergleichende Studie zur visuellen Wahrnehmung zwischen Schülern der Sekundarstufe I und Experten

Von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation von

Michelle Wabnitz

aus Worms

2019

Erstgutachter: Prof. Dr. Alexander Siegmund

Zweitgutachter: Prof. Dr. Klaus-Dieter Hupke

Fach: Geographie

Tag der Mündlichen Prüfung: 29. März 2019

Vorwort

Die Idee zur Promotion entstand, weil mich die Arbeiten mit Blickaufzeichnungen aus anderen Fachgebieten faszinierten. Daher wollte ich die Methode mit einem geographiedidaktischen Thema verbinden, um mehr über die Prozesse beim Lesen von Satellitenbildern zu erfahren.

Die vorliegende Arbeit hätte jedoch nicht entstehen können, wenn mein persönliches Umfeld nicht seinen Teil dazu beigetragen hätte.

Damit meine ich die Unterstützung von der Idee bis zum fertigen Schriftsatz vonseiten meines Erstgutachters Herrn Prof. Dr. Alexander Siegmund. Sein Engagement und seine strukturellen sowie inhaltlichen Rückmeldungen waren sehr gewinnbringend und präzisierten die Thematik.

Ebenfalls danke ich Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Hupke für die Übernahme der Zweitkorrektur.

Das Engagement der zahlreichen Probandinnen und Probanden möchte ich ebenfalls hervorheben und mich dafür nochmals bedanken. Außerdem danke ich den kooperierenden Lehrerinnen und Lehrern, die mich unterstützten Probanden für die Schülergruppe zu finden.

Dr. Philipp Niemann vom Karlsruher Institut für Technologie bin ich sehr dem Dank verbunden, da er mich in die Technik des Eye Trackers einwies und dafür sorgte, dass ich für die zahlreichen Tests sehr unkompliziert ein Gerät ausleihen durfte.

Für die Geduld, die freie Zeit zum Arbeiten und den Rückhalt während der Promotion danke ich meinen Freunden, meiner Familie und ganz besonders Heiko.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 10

Teil I Theoretischer Hintergrund ... 12

2 Die Prozesse der Bildwahrnehmung ... 12

2.1 Visuelle Informationen aufnehmen und verarbeiten ... 13

2.2 Modelle der visuellen Aufmerksamkeit ... 15

2.3 Die Bottom-up und Top-down Prozesse der visuellen Wahrnehmung ... 19

3 Blickbewegungen – die Möglichkeit kognitive Prozesse abzubilden ... 24

3.1 Visuelle Aufmerksamkeitssteuerung und Blickbewegungen ... 24

3.2 Zusammenhang von Blickbewegungen und kognitive Prozessen ... 25

3.2.1 Exogener Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung – Aspekte der Bottom-up Verarbeitung 25

3.2.2 Endogener Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung – Aspekte der Top-down Verarbeitung ... 26

3.2.3 Prämissen für die Auswertung und Interpretation von Blickbewegungsdaten ... 27

3.2.2 Fixationen und fixationsbezogene Indikatoren ... 28

3.2.3 Sakkaden und sakkadenbezogene Indikatoren ... 30

4 Der Einsatz von Satellitenbildern im Geographieunterricht ... 31

4.1 Bildungsstandards und Kompetenzen in der Geographiedidaktik ... 31

4.2 Satellitenbilder im Bildungsplan für das Gymnasium in Baden-Württemberg ... 33

4.3 Didaktisches Potenzial von Satellitenbildern ... 33

4.4 Das „Lesen“ von Satellitenbildern ... 36

4.5 Schwierigkeiten beim „Lesen“ von Satellitenbildern und deren Einsatz im Geographieunterricht ... 37

4.6 Zusammenfassung und Hinführung zu den Forschungsfragen der Studie ... 38

5 Methodische Grundlagen der Eye Tracking-Studie ... 41

5.1 Theoretische Vorüberlegungen und Forschungsdesign ... 41

5.1.1 Der Fragebogen zur Erfassung soziodemografischer Daten ... 45

5.1.2 Die Messung von Blickbewegungen ... 46

5.1.3 Die Methode des Lauten Denkens ... 47

5.2 Aufgabenstellung und Auswahl der Satellitenbilder der Eye Tracking-Studie ... 48

5.2.1 Satellitenbild I: Waldbrand in Griechenland ... 49

5.2.2 Satellitenbild II: Abholzungen in Malaysia ... 50

5.2.3 Satellitenbild III: Der Aralsee ... 52

5.2.4 Satellitenbild IV: Das Grenzgebiet zwischen China und Kasachstan 53
5.3 Auswertung der Eye Tracking Daten 54
5.3.1. Heat maps 54
5.3.2 Area of Interest 56
Teil II 58
6 Ergebnisse der Eye Tracking-Studie 58
6.1 Soziodemografischer Hintergrund der Studienteilnehmer 58
6.2 Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern 59
6.3. Ergebnisse der Eye Tracking-Studie 63
6.3.1 Analyse der Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen 64
6.3.2. Auswertung der Heat maps zur Ermittlung von aufmerksamkeitssteuernden Bildelementen 71
6.3.3 Die Verweildauer als Maß für die Aufmerksamkeit 76
6.3.4 Analyse der Area of Interest nach Verweildauer, mittleren Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen 80
6.3.4 Verhältnis globaler zu lokalen Sakkaden – der Scanpath ratio 89
6.3.5 Suchen versus Verarbeiten – das Verhältnis der Sakkaden- zur Fixationsdauer 93
6.4 Laut Denken-Protokolle 94
7 Beantwortung der Forschungsfragen 102
7.1 Selektionsstrategien von Schülern und Experten beim Lesen von Satellitenbildern 102
7.2 Grad der Aufmerksamkeit: Wie lange wird etwas betrachtet? 104
7.3 Erschließungsstrategien: Wie erschließt der Betrachter sich das Bild? 106
7.4 Qualität der Bildrezeption: Wie ist das Verhältnis von Suchenverhalten zu detaillierter Inspektion? 108
8 Diskussion der Forschungsfragen 109
9 Fazit & Ausblick 113
Literaturverzeichnis 117
Anhang 124
A Materialien 124
B Auswertungsergebnisse der Studie 128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Prozess der Wahrnehmung in Einzelschritten (verändert nach Goldstein 2008) 12

Abbildung 2: Querschnitt durch das menschliche Auge (Hagendorf, 2011, S.54) 13

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Theorien zur selektiven Aufmerksamkeit: a) Filtertheorie von Broadbent b) Attentuationstheorie von Treisman (verändert nach Hagendorf, Krummenbacher, Müller & Schubert, 2011, S.182) 17

Abbildung 4: Die Konturen eines Würfels existieren in der Wahrnehmung, obwohl die Kanten nicht eingezeichnet sind (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011, S. 19) 17

Abbildung 5: Schematische Darstellung von Bottom-up und Top-down Prozessen (Eigener Entwurf) 20

Abbildung 6: Die visuelle Suche nach einem senkrechten schwarzen Balken (Spering & Schmidt, 2009, S. 57) 21

Abbildung 7: Komponenten des integrativen Modells der visuellen Aufmerksamkeit nach Knudsen (verändert nach Knudsen, 2007, S. 59) 22

Abbildung 8: Struktogramm des Forschungsdesigns der Blickbewegungsstudie mit Experten und Schülern (Eigener Entwurf) 42

Abbildung 9: Probandin während der Betrachtung eines Satellitenbildes mit den Eye Glasses (Eigener Entwurf) 45

Abbildung 10: Die Ishihara-Farbtafel zur Überprüfung einer möglichen Rot-Grün-Sehschwäche (Wikipedia, 2004) 45

Abbildung 11: Die Satellitenbildszene vom 1. Juli 2007 zeigt die Dimension eines Waldbrandes in der Nähe von Athen (Airbus defence and space, 2017) 50

Abbildung 12: Satellitenbildszene mit Ölpalmplantage und natürlicher Vegetation in Malaysia/Borneo, aufgenommen mit IKONOS am 18.Juni 2002 (NASA - Earth Observatory, 2009) 51

Abbildung 13: Der Rückgang des Aralsee im Bildvergleich zwischen den Jahren 2002 (links) und 2008 (rechts) (NASA-Visible Earth, 2017a; NASA-Visible Earth, 2017) 52

Abbildung 14: Satellitenbildszene der Grenzregionen von China und Kasachstan, die sich hinsichtlich der Bervölkerungsdichte stark unterscheiden, aufgenommen vom Satelliten Landsat 8 am 9. September 2013 (NASA-Visible Earth, 2015) 53

Abbildung 15: Die Gaußsche Verteilungskuve für einen Fixationswert mit 325 ms Fixationsdauer (Holmquist, 2011, S. 235) 55

Abbildung 16: Einstellung für die Auswertung der Attention-map der Satellitenbilder Malaysia (Eigener Entwurf) 56

Abbildung 17: Abhängigkeit der Darstellung von den Standardabweichungen (Holmquist, 2011, S. 249) 57

Abbildung 18: Vergleich der Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern im schulisch-beruflichen Kontext (Eigener Entwurf) 60

Abbildung 19: Ergebnis der Abfrage des Einsatzes von Satellitenbildern nach Klassenstufen (Eigener Entwurf) 60

Abbildung 20: Vergleich der Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern im privaten Kontext (Eigener Entwurf) 61

Abbildung 21: Mittlere Fixationsdauer nach Zeitabschnitten für das Satellitenbild Malaysia ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf) 65

Abbildung 22: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Malaysia (Eigener Entwurf) 66

Abbildung 23: Anzahl der Fixationen für das Satellitenbild Malaysia ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf) 67

Abbildung 24: Gemittelte Fixationsdauer nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Aralsee ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf) 68

Abbildung 25: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Aralsee (Eigener Entwurf) 68

Abbildung 26: Anzahl Fixationen nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Aralsee ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf) 69

Abbildung 27: Gemittelte Fixationsdauer nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf) 70

Abbildung 28: Anzahl Fixationen nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China ($n_{Experten}$=16; $n_{Schüler}$=26) (Eigener Entwurf) 70

Abbildung 29: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Grenuregion (Eigener Entwurf) . 71

Abbildung 30: Heat maps für das Satellitenbild Malaysia der Experten (links) und Schüler (rechts) (Eigener Entwurf) 72

Abbildung 31: Heat maps für das Satellitenbild Aralsee der Experten (oben) und Schüler (unten) (Eigener Entwurf) 73

Abbildung 32: Heat maps für das Satellitenbild Grenzregion der Experten (oben) und Schüler (unten) (Eigener Entwurf) 75

Abbildung 33: Darstellung der Gridded AOIs für die gemittelte Verweildauer der Experten (links) und Schüler (rechts) des Satellitenbildes Malaysia (Eigener Entwurf) 77

Abbildung 34: Gridded AOIs der Experten (oben) und Schüler (unten) für die Satellitenbilder Aralsee 2002 (li.) und 2008 (re.) (Eigener Entwurf) 78

Abbildung 35: Gridded AOIs der Experten (links) und Schüler (rechts) für das Satellitenbild Grenzgebiet (Eigener Entwurf) 79

Abbildung 36: Die Area of Interests (AOI) des Satellitenbildes Malaysia (Eigener Entwurf) 80

Abbildung 37: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Malaysia pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 81

Abbildung 38: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Malaysia (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 82

Abbildung 39: Die Area of Interests (AOI) der Satellitenbilder Aralsee von 2002 (links) und 2008 (rechts) (Eigener Entwurf) 83

Abbildung 40: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Aralsee pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 84

Abbildung 41: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Aralsee (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 85

Abbildung 42: Area of Interest des Satellitenbildes Grenzgebiet Kasachstan/China (Eigener Entwurf) 86

Abbildung 43: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Grenzregion pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 87

Abbildung 44: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Grenzregion (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 88

Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 90

Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 91

Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf) 92

Abbildung 48: Modell der visuellen Analyse von Echtfarben-Satellitenbildern (Eigener Entwurf) 111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ablauf der Blickbewegungsstudie und Arbeitsanweisungen (Eigener Entwurf) 43

Tabelle 2: Freie Antworten der Experten zum Ausbildungsgrad im Bereich Fernerkundung (Eigener Entwurf) 58

Tabelle 3: Übersicht der soziodemografischen Angaben der Studienteilnehmer (Eigener Entwurf) ... 59

Tabelle 4: Median und Modalwert der Nutzungshäufigkeit von Experten und Schülern (Eigener Entwurf) 62

Tabelle 5: Aufnahmerate pro Satellitenbild (Eigener Entwurf) 63

Tabelle 6: Mittlere Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen für die Satellitenbilder Malaysia, Aralsee und Grenzregion (Eigener Entwurf) 64

Tabelle 7: Verweildauer für das Satellitenbild Malaysia auf Grundlage der Gridded AOIs (Eigener Entwurf) 77

Tabelle 8: Transition Matrix für das Satellitenbild Malaysia (Experten n=18 (grau); Schüler n=29 (rot)) (Eigener Entwurf) 82

Tabelle 9: Transition Matrix für das Satellitenbild Aralsee (Experten n=18; Schüler Experten n=29) (Eigener Entwurf) 86

Tabelle 10: Transition Matrix für das Satellitenbild Grenzregion (Experten n=18; Schüler Experten n=29) (Eigener Entwurf) 89

Tabelle 11: Scanpath ratio für das Satellitenbild Malaysia (Eigener Entwurf) 91

Tabelle 12: Scanpath ratio für das Satellitenbild Aralsee (Eigener Entwurf) 91

Tabelle 13: Scanpath ratio für das Satellitenbild Grenzregion (Eigener Entwurf) 92

Tabelle 14: Verhältnis der Sakkadenlänge zur Fixationslänge von allen Satellitenbildern (Eigener Entwurf) 93

Tabelle 15: Codierschema der Laut Denken-Protokolle (eigene Zusammenstellung auf Grundlage von Kollar 2012) 94

1 Einleitung

Ein Ziel des Geographieunterrichts ist, das raumbezogene und systemische Denken von Schülerinnen und Schülern[1] zu entwickeln. Sie sollen komplexe Sachverhalte durchdringen und Lösungsmöglichkeiten erarbeiten können. Das Geomedium Satellitenbild zählt zu den Informationsmaterialien, wie beispielsweise analoge Karten, Diagramme und Statistiken, anhand denen sich die Methodenkompetenz entwickelt und geographische Fragestellungen anlaysieren und bewerten lassen (DGfG, 2014).

Die Kompetenz, Satellitenbilder analysieren zu können, wird für die heutigen Schüler und zukünftigen Bürger, sowohl im schulischen als auch im alltäglichen Leben wichtiger, denn durch den gegenwärtigen Transfer zur digitalen Gesellschaft und die breite Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten werden sie zunehmend mit diesen konfrontiert. Bereits heute begegnen uns Satellitenbilder in den verschiedenen Medien – als Kartengrundlage bei Naviagtionssystemen oder bei der Dokumentation weltweiter Naturereignisse in den Leitmedien (z. B. Tsunami, Stürme etc.). Im Sinne des Alltagsbezugs ist es daher für Schüler wichtig, sich mit diesem Geomedium auseinanderzusetzen. Neben der Tendenz, dass sich Satellitenbilder weiter verbreiten, bieten sie obendrein eine Vielzahl von Möglichkeiten für den Einsatz in einem zeitgemäßen und kompetenzfördernden Geographieunterricht. Sie haben viel Potenzial, wie eine hohe Aktualität und Anschaulichkeit und haben eine positive Wirkung auf die Lernmotivation (Ditter, 2014). Sie rufen aber auch, ihrer Komplexität geschuldet, oftmals eine gewisse Hemmnis bei den Lehrern hervor das Geomedium einzusetzen. Nichtsdestotrotz werden sie mehr und mehr im Unterricht verwendet.

Der Einsatz von Satellitenbildern im Unterricht wurde von der geographiedidaktischen Forschung begleitet und es gibt aktuell eine beachtenswerte Anzahl an Studien. Dazu zählen neben anderen eine Überblicksstudie zum Einsatz von Satellitenbildern im nationalen und internationalen Vergleich (Siegmund, 2011), die empirische Überprüfung eines Kompetenzmodells zur Satellitenbildlesekompetenz (Kollar, 2012) sowie viele didaktisch-methodische Empfehlungen, die in fachdidaktischen Zeitschriften publiziert wurden. Neumann-Mayer (2005) untersuchte die Frage, ob Schüler überhaupt einen Zugang finden und wo die Probleme beim Satellitenbildlesen in der Sekundarstufe I liegen könnten. Diese Arbeiten bieten eine hervorragende Grundlage, aber lassen die von Rainer Mehren geforderte Analyse des Lernprozesses außer Acht. In seinem Beitrag unter der Leitfrage „Geographiedidaktik – quo vadis?“ äußert er das Forschungsdesiderat nicht nur den Lernerfolg, sondern auch den Blick auf den eigentlichen Lernprozess zu richten. Zwar folgten Forschungsarbeiten zu Schülervorstellungen und zur Kompetenzorientierung bereits dem

[1] Wegen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden nur die männliche Form verwendet, wobei beide Geschlechter damit gleichermaßen gemeint sind.

Prä-Post-Design, lassen den Prozess aber weiterhin außen vor (Bagoly-Simó & Hemmer, 2016).

Die hier vorliegende Studie will dem vorgetragenen Desiderat nachkommen und verbindet eine in anderen Wissenschaften (z. B. der Psychologie) etablierten Forschungsmethode mit einer geographiedidaktischen Fragestellung aus dem Bereich der Fernerkundung. Ziel ist es anhand der Blickbewegungen die Unterschiede der erfahrenen und weniger erfahrenen Satellitenbildleser zu erfassen und davon kognitive Prozesse ableiten zu können. Dazu wurden von zwei sehr unterschiedlichen Gruppen, den Experten und Schülern, die Blicke während des Betrachtens von Satellitenbildszenen mithilfe eines Eye Trackers aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Ziel ist es, Aussagen zu den Selektionsstrategien, dem Grad der Aufmerksamkeit beim Betrachten der Bilder, den Erschließungsstrategien und der Qualität der Bildrezeption treffen zu können. Die quantitativen Daten werden postaktional durch Laut Denken-Protokolle verifiziert, in dem die Probanden ihre Blickbewegungen kommentieren.

Gegenstand der Arbeit ist außerdem ein Fragebogen der die soziodemografischen Daten und das Vorwissen der Probanden erfasst, um die Unterscheidung der beiden Gruppen hinsichtlich ihrer Erfahrung im Lesen von Satellitenbildern zu gewährleisten.

Teil I Theoretischer Hintergrund

2 Die Prozesse der Bildwahrnehmung

In der Umwelt befinden sich unzählige „verfügbare Stimuli“, die wenigsten erhalten allerdings die notwendige Beachtung, um ins Zentrum der Aufmerksamkeit zu gelangen und ein „beachteter Stimulus“ zu werden (Goldstein, 2008). Da der Mensch nicht allen Umweltreizen nachgehen kann, steuert unsere Aufmerksamkeit den Input an visuellen Reizen (Duchowski, 2007). Richten wir unsere Aufmerksamkeit auf eine Sache, wird das Objekt auf der Retina abgebildet und durch Transduktion von einem Energiezustand in einen anderen versetzt. Hier ist es die Übersetzung der Wellenlänge in elektrische Signale zur weiteren neuronalen Verarbeitung im Gehirn. Geschehen diese Prozesse bewusst und knüpfen sich daran zusätzliche Schritte des Erkennens und der Handlung, dann spricht man von Wahrnehmung (Goldstein, 2008). Die Wahrnehmung ist sozusagen ein von der Aufmerksamkeit gesteuerter Prozess, mit dem die visuellen Informationen organisiert und interpretiert werden (Hagendorf, Krummenacher, Müller & Schubert 2011).

Das Erkennen ist die Fähigkeit, das Objekt in eine bereits vorhandene Kategorie einzuordnen. Oft schließen sich nun Handlungen an, wie das Drehen des Kopfes, Augenbewegungen oder auch die Entscheidung etwas genauer zu betrachten. Der Wahrnehmungsprozess ist kein abgeschlossener Prozess (Goldstein, 2008) und aufgrund dessen kreisförmig angeordnet, der weder Anfang noch Ende hat (vgl. Abb. 1).

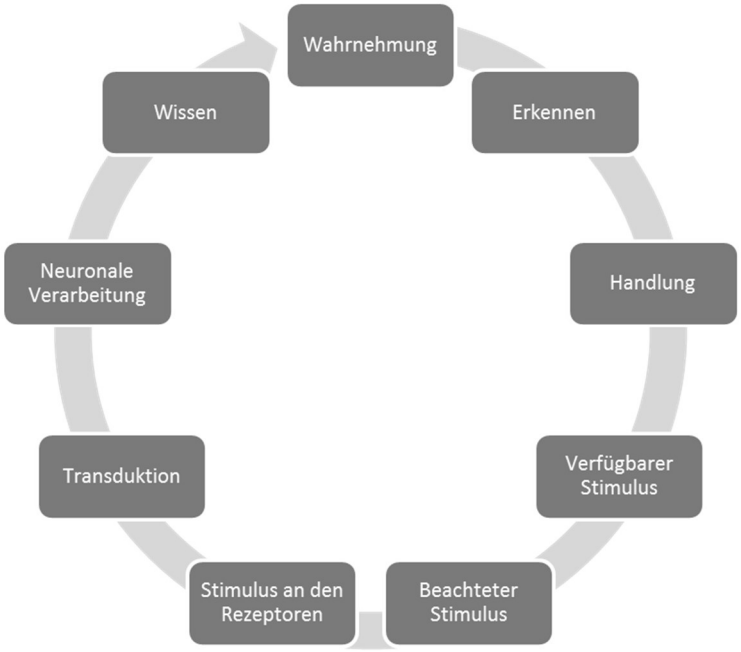


Abbildung 1: Der Prozess der Wahrnehmung in Einzelschritten (verändert nach Goldstein 2008)

Der Teilaspekt Wissen ist sowohl das Ziel der Wahrnehmung, als auch etwas, das der Wahrnehmende in Form von Vorwissen in den Prozess einbringt. Dieser Aspekt ist insofern wichtig, da Vorwissen die Wahrnehmung beeinflussen kann (Goldstein, 2008).

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Teilschritte der visuellen Wahrnehmung (vgl. Abb. 1), die „vor und hinter den Kulissen“ ablaufen, im Einzelnen betrachtet. Dazu gehören der physiologische Sinneseindruck, die Transduktion und die neuronale Verarbeitung der visuellen Sinneseindrücke um letztendlich im Kontext von Schule Wissen zu vermitteln.

2.1 Visuelle Informationen aufnehmen und verarbeiten

Durch die Hornhaut an der Vorderseite des Augapfels tritt das von der Umwelt ausgehende Lichtmuster in das Augeninnere ein und wird durch die Linse derart gebündelt, dass es auf der hinteren Seite des Auges auf die dort befindliche Netzhaut (Retina) auftrifft. Im Augenhintergrund befinden sich Sehrezeptoren zur Verarbeitung und Weiterleitung der Informationen an den Sehnerv. Zwar erstreckt sich die Netzhaut über eine weite Fläche, aber sie ist räumlich nicht gleichmäßig mit den beiden Rezeptorzellen, den Zapfen und Stäbchen, ausgestattet und auch die Dichte der jeweiligen Rezeptoren ist divergent. Die weniger lichtempfindlichen, aber dafür stark farbempfindlichen Zapfen befinden sich hauptsächlich im Zentrum der Netzhaut, der Fovea centralis. Dagegen sind die hoch lichtempfindlichen aber nicht farbempfindlichen Stäbchen nur in der Peripherie angeordnet. Dies ist der Grund dafür, dass wir bei sehr geringem Lichteinfall (z. B. zum Zeitpunkt der Dämmerung) keine Farben mehr wahrnehmen können. Die dafür zuständigen Zapfen benötigen nämlich eine 200-fach größere Menge an Licht zur Weiterleitung als die Stäbchen. Diese unterschiedliche Verteilung der Rezeptoren auf der Netzhaut hat unterschiedliche Funktionsweisen von Netzhautzentrum und Netzhautperipherie zur Folge (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011).

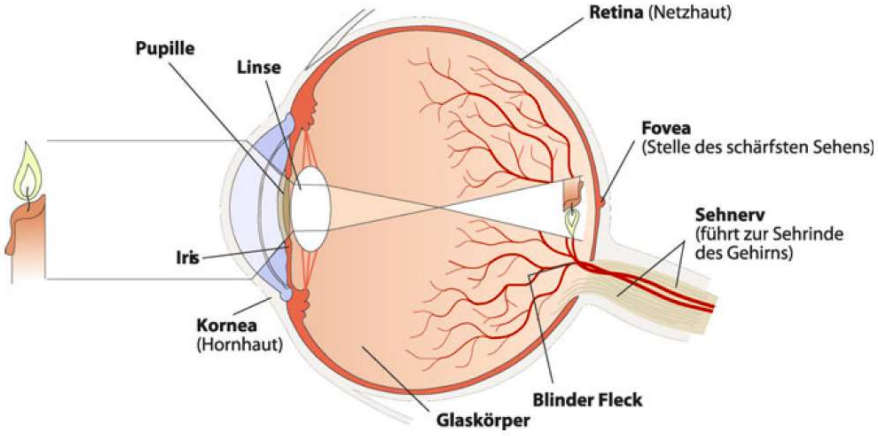


Abbildung 2: Querschnitt durch das menschliche Auge (Hagendorf, 2011, S.54)

Netzhautzentrum: Alle Abbildungen von Objekten, die eine Person scharf und in Farbe sehen möchte, müssen durch die Ausrichtung des Augapfels so auf der Netzhaut positioniert werden, dass sie auf die Fovea centralis auftreffen. Nur dort ist die erforderliche Dichte an Zapfen vorhanden.

Netzhautperipherie: Die Objekte, welche im Gesichtsfeld des Auges so angeordnet sind, dass sie auf die Peripherie der Netzhaut auftreffen, werden unscharf und nicht farbig wahrgenommen, dienen aber unter anderem der Wahrnehmung bewegter Objekte. Der Netzhautperipherie kommt darüber hinaus eine besondere Bedeutung zu. Sie leitet nämlich die Ausrichtung eines Umweltausschnittes auf die Fovea centralis ein.

Das menschliche System kann allerdings nur einen geringen Teil der Umweltinformationen aufnehmen und verarbeiten, so dass zur Bewältigung der Informationsflut über den Mechanismus der selektiven Aufmerksamkeit nur diejenigen Informationen in den Fokus genommen werden, die als wichtig eingestuft wurden. Durch Körperdrehung oder Kontraktion der Muskeln wird die Ausrichtung der optischen Achse hinzu neuen Objekten gesteuert. Dies ist zum einen notwendig, um die Aufmerksamkeit auf spezifische Reize zu lenken, aber auch um die visuelle Wahrnehmung überhaupt aufrechterhalten zu können, denn sonst würde nach einer gewissen Zeit der Eindruck einer grauen Fläche entstehen, weil die nötigen Reize fehlen. Blicksprünge werden drei- bis fünfmal pro Sekunde gemessen und laufen mit einer hohen Geschwindigkeit ab. Das Auge ruht zu 85 % der Zeit und fixiert einen Ausschnitt. Nur 15 % der Zeit werden durchschnittlich für Blicksprünge verwendet (Mangold, 2007).

Generell gilt, dass auffälligen Reizmustern, die durch Form, Farbe oder Bewegung sich von der Umwelt abheben oder auf andere Weise ungewöhnlich sind, mit hoher Wahrscheinlichkeit mehr Aufmerksamkeit zugesprochen wird als unauffälligeren Mustern. Allerdings hängt die Fokussierung nicht nur von äußeren Reizen ab, sondern personenbezogene Faktoren spielen hier ebenso eine große Rolle. Dazu gehören persönliche Ziele, Motive und Erwartungen (Mangold, 2007). Die Bestimmung der einzelnen Faktoren ermöglicht dennoch nicht die Vorhersage der Aufmerksamkeitssteuerung einer Person, da das Zusammenspiel hoch komplex ist.

2.2 Modelle der visuellen Aufmerksamkeit

„Everyone knows what attention is. It is taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence" (W. James 1981 in Duchowski, 2007).

Heute gilt die visuelle Aufmerksamkeit als Selektivität der Wahrnehmung und ist ein *„beschreibender Begriff, der verschiedene Formen der Selektivität der Wahrnehmung"* meint (Ansorge & Leder, 2011, S. 17). Eine Definition der visuellen Aufmerksamkeit wird bereits seit Jahrzehnten diskutiert und wurde stark durch den jeweiligen Zeitgeist geprägt.

So sprach sich Helmholtz dafür aus, dass die visuelle Aufmerksamkeit ein essentieller Mechanismus für die visuelle Wahrnehmung ist. Seine Forschungsarbeiten stehen vor allem mit der räumlichen Lokalisation in Zusammenhang. *„We let our eyes roam continually over the visual field, because that is the only way we can see as distinctly as possible all the individual parts of the field in turn"* (Duchowski, 2007, S. 4). Im Wesentlichen steht er für die Aussage, dass obwohl die visuelle Aufmerksamkeit ohne die Bewegung der Augen auf periphere Objekte gerichtet sein kann, zeigen erst die Augenbewegungen die eigentliche Inspektion von Objekten im Detail an. Augenbewegungen erbringen somit den Beweis für die offenkundige visuelle Aufmerksamkeit (Duchowski, 2007).

In Kontrast zu Helmholtz sieht James die visuelle Aufmerksamkeit als einen inneren Prozess anstatt von äußeren Stimuli gelenkt zu sein. Er fokussiert sich auf die Elemente, die uns ansprechen und detaillierter inspiziert werden (Duchowski, 2007).

Noch immer repräsentieren beide Ansichten ein zeitgemäßes Konzept der visuellen Aufmerksamkeit und entsprechen dem fovealen (James) und parafovealen (Helmholtz) Aspekt der visuellen Aufmerksamkeit. Auf diesem dichotomen Ansatz basiert das Bottom-up Modell in der Form, dass beim Betrachten eines Bildes die Bildregionen in den Blick genommen werden, die der Betrachter als interessant empfindet. Zunächst werden diese Regionen parafoveal erspäht, um anschließend genauer (foveal) analysiert zu werden. In diesem Sinne lenken peripher lokalisierte Bildelemente die Aufmerksamkeit auf das nächste zu erblickende Objekt, das man im Zentrum des schärfsten Sehens im Details untersucht, während gleichzeitig folgende Elemente im peripheren Sehfeld erfasst wurden und den nächsten Blickwechsel vorbereiten (Duchowski, 2007).

Diese stark von Bildelement gelenkte Ansicht der visuellen Aufmerksamkeit ist eine hilfreiche Metapher und Basis für daran anknüpfenden „computational models" der visuellen Aufmerksamkeit. Obgleich diese Ansicht sehr rudimentär ist und weitere Modelle der visuellen Aufmerksamkeit ebenso die kognitiven Funktionen in Betracht ziehen.

Gibson weitet das Spektrum der visuellen Aufmerksamkeit auf höhere kognitive Verarbeitungswege aus. Für ihn spielen die Erwartungen des Betrachters eine große Rolle für

die Auswertung und Interpretation der visuellen Elemente. Diese Komponente der Aufmerksamkeit erklärt die Variabilitationsfähigkeit der Reaktion auf einen visuellen Stimulus. Experimente mit unklarem Stimulus zeigen eben diesen Effekt sehr deutlich. Zum Beispiel wird ein Proband, der Wörter aus dem Kontext „Tiernamen“ erwartet, das englische Wort „sael“ als „seal“ (= die Robbe) lesen. Wird hingegen durch vorherige Instruktionen ein Wort aus dem Bereich des Bootsbaus erwartet, wird der Betrachter höchstwahrscheinlich „sail“ lesen. Die Art wie jemand reagiert hängt stark von seiner Einstellung und Haltung.

In den 1950er designte Broadbent auditorische Experimente, um die Filtertheorie der Aufmerksamkeit belegen zu können. Er bot simultan dargebotene Sequenzen von Zifferpaaren an das rechte und linke Ohr an (2-7, 6-9, 7-5). Ergebnis des Experiments war, die Probanden gaben bevorzugt die Zahlen nach Ohr und nicht Zahlenpaar wieder (2-6-9; 7-9-5). Er schloss darauf, dass die physikalischen Merkmale der Eingangsinformation als effektive Hinweisreize dienen und damit die unterschiedlichen Nachrichtenreize auseinandergehalten werden können (Duchowski, 2007; Hagendorf, 2011). In sein Aufmerksamkeitsmodell integrierte er zwei weitere Befunde, das Paradigma des dichotischen Hörens und einen weiteren aus Untersuchungen zur psychologischen Refräktärperiode von Welfords. Ersteres zeigt, dass bei einer dichotischen Höraufgabe Veränderungen, beispielsweise der Wechsel von einer Frauen- zu einer Männerstimme, auf dem zu ignorierenden Ohr entdeckt werden. Zweitens belegt er die serielle Verarbeitung von Reizen, das heißt die Verarbeitung des ersten Reizes muss abgeschlossen sein, bevor die zweite beginnt (Hagendorf, 2011). Broadbent versuchte in seinem theoretischen Modell (vgl. Abb. 3) den Vorgang bei zwei zeitgleich dargebotenen Eingangsreizen zu erklären. Indem nur einer den selektiven Filter passiert, während der andere blockiert ist, weil durch die serielle Verarbeitung das System überlastet wäre. Informationen, die dieses System durchlaufen gelangen jedoch ins Langzeitgedächtnis und stehen dauerhaft zur Verfügung (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011). Zusammenfassend steht die Filtertheorie für folgende Annahmen: der Ort der Nachrichtenselektion ist sehr früh angesiedelt, die erste Selektion geschieht auf Grundlage von physikalischen Reizen, die Weiterleitung erfolgt nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip und es gilt die serielle Verarbeitung (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011).

Weitere Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Filtertheorie nicht aufrecht gehalten werden kann, da entgegen dem Alles-oder-nichts-Prinzip Informationen vom nicht beachteten Kanal durchdrangen. Moray berichtete beispielsweise von Probanden, die ihren eigenen Namen im nicht beachteten Kanal entdeckten und sogar Informationen bis zu einer gewissen semantischen Stufe verarbeiten konnten (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011). Anne Treisman stellte daraufhin eine revidierte Form der Filtertheorie, die als Attentuationstheorie bezeichnet wird, auf (vgl. Abb. 3).

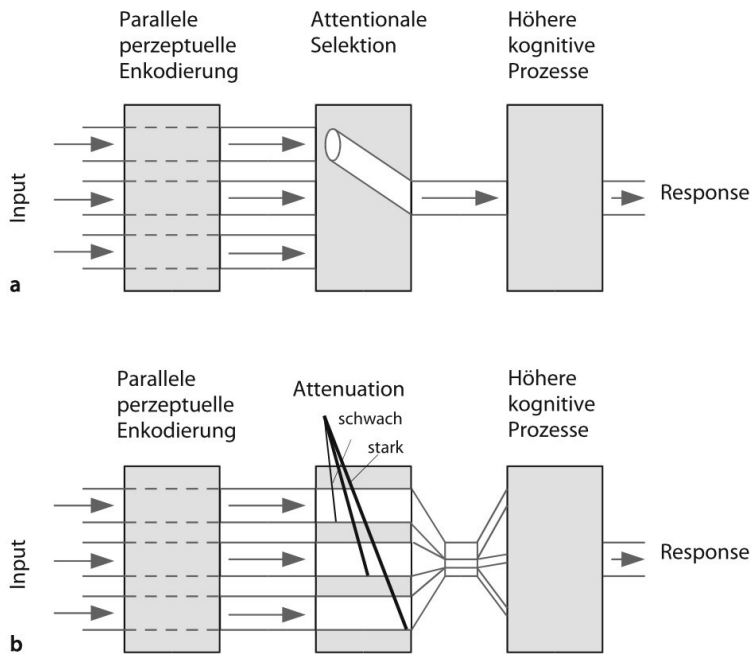


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Theorien zur selektiven Aufmerksamkeit: a) Filtertheorie von Broadbent b) Attentuationstheorie von Treisman (verändert nach Hagendorf, Krummenbacher, Müller & Schubert, 2011, S.182)

Obwohl Treismann ein überzeugendes Modell der visuellen Aufmerksamkeit aufstellt, bleibt das Problem der Integration der Einzelszenen zu einem Gesamtbild bestehen. Beispielsweise kann ein Betrachter einer Gruppe nicht die einzelnen Gesichter im Detail abscannen, schafft es aber sich einen Überblick der Situation zu verschaffen und weiß unter anderem an welcher Stelle die einzelnen Personen sich befanden. Ein weiteres und bekanntes Beispiel für diese Problematik sind die Figuren von Kanizsa (vgl. Abb. 4). Objektiv sind nur Kreissegmente sichtbar, aber der Betrachter kann einen Würfel sehen obwohl die Kanten nicht explizit eingezeichnet sind. Der Würfel existiert in seiner Form nur in der Wahrnehmung.

Abbildung 4: Die Konturen eines Würfels existieren in der Wahrnehmung, obwohl die Kanten nicht eingezeichnet sind (Hagendorf, Krummenacher, Müller, & Schubert, 2011, S. 19)

Wie die Wahrnehmung des gesamten Würfels letztendlich funktioniert, ist bisher nicht bewiesen worden. Eye Tracking Untersuchungen zeigten zwar, dass eine Szene

ausschnittweise inspiziert wird, aber wie der Prozess der Integration der einzelnen Szenen stattfindet ist unerforscht. Einen ersten Ansatz lieferten die Gestalttheoretiker indem sie die Hypothese aufstellten, dass eine Szene mit einer Art separatem Kanal in ihrer Gesamtheit erfasst wird. Denn gemäß der Gestalttheorie ist das „Ganze (..) mehr als die Summe seiner Teile“ (Hagendorf, 2011, S.27). Die Ansammlung elementarer Empfindungen weist erst in ihrer Kombination eine Eigenschaft auf, wie beispielsweise die Abfolge von Noten, die in ihrer angesammelten „Gestalt“ eine Melodie ergibt (Hagendorf, 2011).

Diese Behauptungen galt es mittels Eye Tracking Forschung weiter zu untersuchen. Die nun folgenden Diskussionen zeigen die Wichtigkeit der Untersuchungsmethode nicht nur wegen ihrer starken Aussagekraft, sondern auch um die Theorien der visuellen Aufmerksamkeit und Wahrnehmung weiter abzusichern.

Frühe diagrammetrische Darstellungen der Blickbewegungen brachten Zweifel an der Hypothese der Gestalttheoretiker und der Annahme, dass die Wahrnehmung ein paralleler Prozess ist. Obwohl bekannte visuelle Illusionen wie die von Kanizsa (vgl. Abb. 4), diese These stützen, zeigten frühe Untersuchungen wie die von Yarbus sowie von Noton und Stark, mithilfe des Eye Tracking, dass es teilweise seriell ablaufende Prozesse sind. Yarbus misst die Augenbewegungen von Probanden beim Betrachten eines Bildes, die zuvor bildbezogene Fragen erhalten (Yarbus, 1967). Die Auswertungen zeigen Blickbewegungen in bestimmten Regionen eines Bildes, die nacheinander abgescannt werden. Noton und Stark führten ebenfalls Untersuchungen mit Probanden, denen ein Bild vorgelegt wird durch und ergänzten Yarbus Ergebnisse um den Aspekt, dass sie den Probanden keine Fragen gaben und diese trotzdem die „regions of interest“, also die informationsreichen Orte fixierten. Die Abfolge der Blickpfade, von Noton und Stark „scanpaths“ genannt, sind innerhalb der Versuchsgruppe und sogar von Person zu Person sehr unterschiedlich. Die Zweifel am Modell der visuellen Wahrnehmung der Gestalttheoretiker werden durch diese beiden Ergebnisse untermauert, da ein Bild nur sequentiell durch die Fixierung mehrerer informationsträchtiger Fixpunkte erfasst wird und trotzdem ein Gesamteindruck entsteht (Duchowski, 2007).

Wie erfolgt jedoch die räumliche Verlagerung der visuellen Aufmerksamkeit? Posner et al. untersuchten in ihren Experimenten die visuelle Aufmerksamkeit unter den Bedingungen von exogenen (Kasten) und endogenen Hinweisreizen (Pfeil). Die Probanden sollten zunächst auf einen Punkt in der Bildmitte schauen und nach Erscheinen eines Signals (hier ein „p“ oder „q“) dieses mittels zweier Tasten angeben. Im Falle des exogenen Hinweisreizes blinkte eines der Quadrate, anders im Setting des endogenen Hinweisreizes, bei dem explizit ein Richtungspfeil dargeboten wurde. Gelten diese Hinweisreize als valide, dann zeigen sie korrekt das kommende Zeichen an, gelten sie als invalide folgt das Zeichen nicht in dem angekündigten Kasten (Spering & Schmidt, 2009).

Mit diesem Versuchsaufbau von Posner wird die räumliche Verlagerung der visuellen Aufmerksamkeit untersucht, denn viele Befunde stützen die Vorstellung, dass exogene Hinweisreize die visuelle Aufmerksamkeit automatisch auf sich ziehen während endogene

Hinweisreize unter der kognitiven Kontrolle stehen. So wirken exogene Hinweisreize auch dann, wenn sie keine Vorhersagekraft haben. Im Fall der endogenen Hinweisreize wirken sie allerdings nur, wenn sie valide sind und eine gewisse Vorhersagekraft haben. Oftmals wird eine Verteilung von 80 % zu 20 % zwischen validem und invalidem Hinweisreiz gewählt.

Ein weiterer Unterschied besteht im zeitlichen Verlauf der Aufmerksamkeitseffekte. Die endogenen Reize sind am effektivsten, wenn der Zielreiz etwa 300-500 ms vorausgeht und somit genügend Vorbereitungszeit gegeben wird. Hingegen reagierten die Probanden bereits bei 100 ms, wenn ein exogener Reiz gegeben wurde. Diese Reaktion ist insbesondere dann wichtig, wenn schnell eine Orientierungsreaktion ausgelöst werden muss, weil beispielsweise ein Hund vor das Auto läuft (Spering & Schmidt, 2009).

Die Popularität Posners Paradigma hat dazu geführt, dass die visuelle Aufmerksamkeit mit einem Scheinwerferlicht verglichen wurde, das bestimmte Positionen „erhellt“ und an diesen Stellen die größten Ressourcen der Aufmerksamkeit bereitstellt und infolge dessen die Verarbeitung schneller und genauer wird (Spering & Schmidt, 2009). Allerdings scheint es nicht immer die Position als solche zu sein, auf die sich die Aufmerksamkeit richtet, sondern Studien zur objektbasierten Aufmerksamkeit zeigen, dass sich die Aufmerksamkeit leichter innerhalb von Objekten als zwischen zwei Objekten verschieben lässt, auch wenn die Strecke gleich lang war. Des Weiteren zeigt sich, dass es den Probanden leichter fällt zwei Merkmale eines Objektes als zwei Merkmale verschiedener Objekte zu betrachten. Diese und weitere Befunde zeigen, dass die Aufmerksamkeit nicht Positionen im Raum, sondern die Objekte im Raum auswählt (Spering & Schmidt, 2009).

2.3 Die Bottom-up und Top-down Prozesse der visuellen Wahrnehmung

Die Orientierung der Lehr- Lernforschung auf den Lernenden selbst, rückt die Frage, wie dieser visuelle Informationen wahrnimmt und verarbeitet, d. h. wie menschliches Wahrnehmen und Verarbeiten von Sinneseindrücken verlaufen, ins Zentrum der Forschung. Wahrnehmung definiert Banyard, wie die mit den Sinnesorganen aufgenommene Informationen verstanden und interpretiert wird (Banyard, 1995). Vor allem die konstruierenden Prozesse auf kognitiver Ebene sind heute der Ansatzpunkt der Wahrnehmungsforschung geworden und gehen über die bisherige Definition der visuellen Informationsaufnahme auf Ebene der Sinnesorgane hinaus.

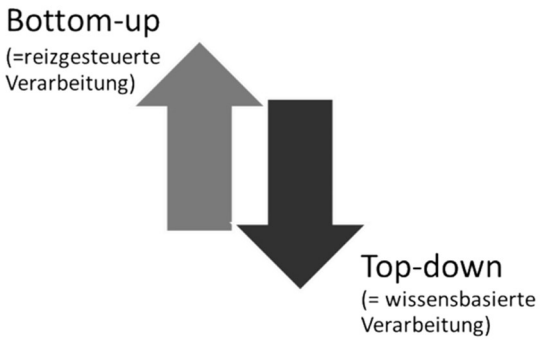


Abbildung 5: Schematische Darstellung von Bottom-up und Top-down Prozessen (Eigener Entwurf)

Der Wahrnehmung und dem Verstehen von visuellen Reizmustern liegt das interaktive Modell der auf- und absteigenden Prozesse, sogenannter Bottom-up und Top-down Prozesse zugrunde (Mangold, 2007). Wahrnehmungsvorgänge bei denen Informationen aus der Umwelt aufgenommen und „nach oben" (ins Gehirn) transportiert werden als Bottom-up Prozess bezeichnet.

Mithilfe der Informationen können erste Hypothesen über die Beschaffenheit der wahrgenommenen Situation gebildet werden. Als Top-down werden Informationsverarbeitungsprozesse bezeichnet, die dem Zweck dienen eine über die Umwelt bereits vorliegende Hypothese bzw. vorläufige Interpretation zu prüfen. Informationen werden auf ihre Validität anhand des bestehenden Konstrukts geprüft und entweder die Informationen verworfen oder die bestehende Hypothese modifiziert (Mangold, 2007).

Die beiden Prozesse getrennt voneinander betrachtet heißt, dass es sich bei Top-down Prozessen um eine Hypothesengesteuerte Wahrnehmung handelt, hingegen ist das Prinzip von Bottom-up Prozessen eine datengesteuerte Wahrnehmung mit semantischer Analyse aber ohne ästhetische Beurteilung (vgl. Abb. 5). Treisman & Gelade entwickelten das Paradigma der visuellen Suche, um zwischen den zwei verschiedenen Informationsverarbeitungswegen zu unterscheiden. Mit visueller Suche bezeichnet man Situationen, in denen unter zu vernachlässigenden Reizen bestimmte Objekte zu finden sind, bspw. die Suche nach einer bestimmten Person auf einem Bahnsteig.

Die Trennung der visuellen Informationsverarbeitung in zwei Phasen wird durch folgende Aufgabe deutlich. Der Betrachter wird aufgefordert den Zielreiz (senkrechter schwarzer Balken) in vier unterschiedlichen Abbildungen zu finden (vgl. Abb. 6). Die Suche nach dem schwarzen Balken erfolgt in den oberen beiden Bildern (a, b) relativ schnell, weil nur zwischen hell und dunkel unterschieden werden muss und die Suche ohne große Aufmerksamkeitsleistungen bewerkstelligt wird. Der Zielreiz „poppt“ regelrecht auf. Dem entgegen wird die visuelle Suche des Zielreizes in den beiden unteren beiden Bildern wahrscheinlich länger andauern, weil zwischen zwei Merkmalen (Farbe und Lage) diskriminiert werden muss und es zu keinem Pop-out-Effekt mehr kommt. Die Unterscheidung der beiden Verarbeitungswege kann durch die Dauer der Analyse von

Suchzeiten in verschiedenen Situationen getroffen werden (Spering & Schmidt, 2009; Buswell, 1935).

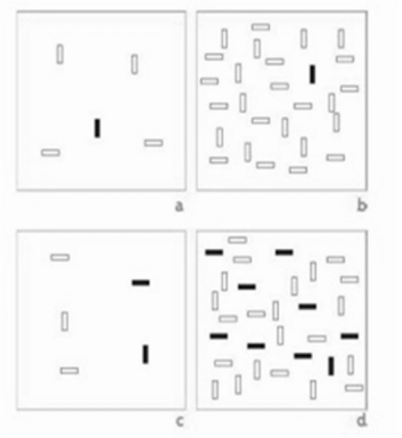


Abbildung 6: Die visuelle Suche nach einem senkrechten schwarzen Balken (Spering & Schmidt, 2009, S. 57)

Wäre die Bottom-up Verarbeitung die einzige Art der Aufmerksamkeitserzeugung, dann wären bewusst gesteuerte Augenbewegungen nicht erforderlich und der Betrachter könnte nicht willentlich in den visuellen Suchprozess eingreifen. Der Betrachter ist aber in der Lage seinen Blick willentlich zu lenken und auf Objekte zu richten. Aus diesem Grund müssen kognitive Prozesse höherer Ordnung in das Modell der visuellen Aufmerksamkeit einbezogen werden.

Knudsen erweitert die reinen Top-down und Bottom-up Modelle in seiner Arbeit *Fundamental Components of Attention* um zwei weitere Aspekte (Knudsen, 2007). Er versteht die Aufmerksamkeitsprozesse als das Ergebnis des Zusammenspiels von vier verschiedenen Verarbeitungswegen bzw. Instanzen: a) dem Arbeitsgedächtnis, b) einer kompetitiven Selektion, c) Prozesse höherer Ordnung, die zur Bedeutung der Reizinformation beitragen (Top-down) und d) einem Salienzfilter, der reizbasiert arbeitet (Knudsen, 2007). Darüber hinaus formuliert er das Konzept der Signalstärke (signal strength), um die Frage nach der erfolgreichen Weiterleitung ausgewählter Umweltreize zu klären. Itti & Koch hingegen sehen aber automatische Prozesse der Bottom-up Salienzfilter und ebenso durch die Beeinflussung volitionaler Top-down Einflüsse für die erfolgreiche Reizweiterleitung (Itti & Koch, 2001). Beide nehmen jedoch an, dass die Umweltinformation mit der höchsten Signalstärke den Wettkampf um die Aufmerksamkeit gewinnt und im Arbeitsgedächtnis weiterverarbeitet wird (Knudsen, 2007; Itti & Koch, 2001).

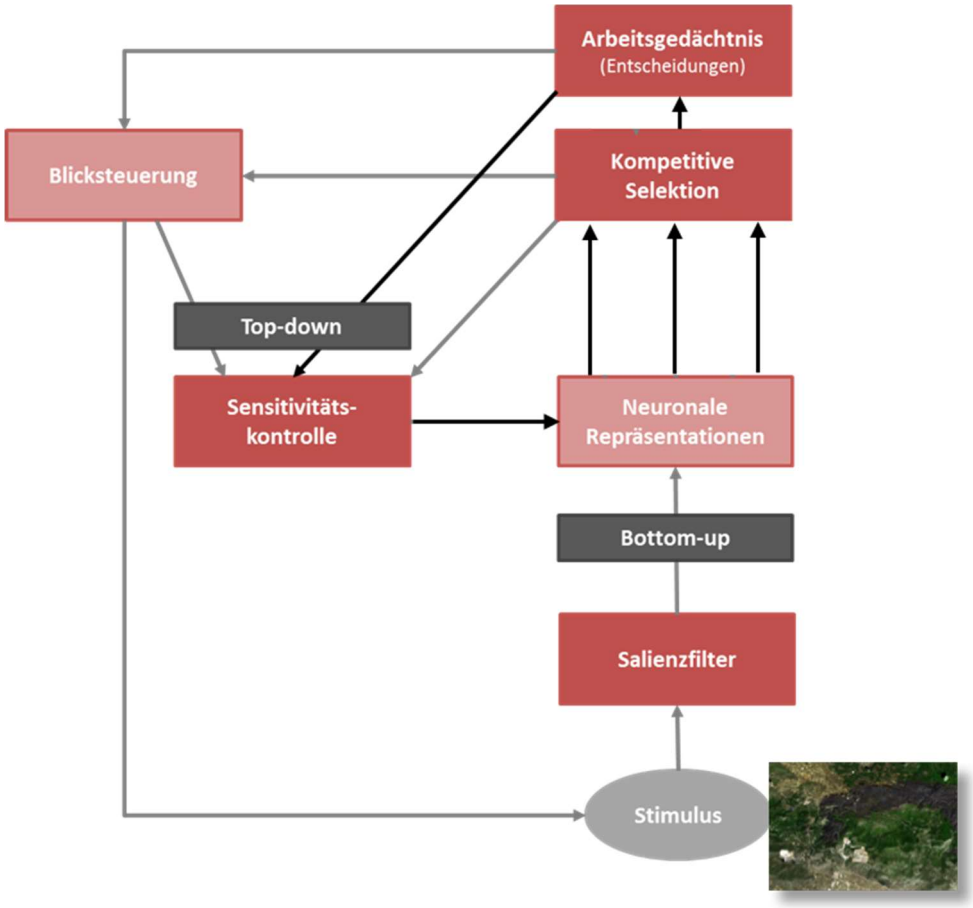


Abbildung 7: Komponenten des integrativen Modells der visuellen Aufmerksamkeit nach Knudsen (verändert nach Knudsen, 2007, S. 59)

Die Verarbeitungsmechanismen klären aber noch nicht, welche Informationen aus Bildern entnommen werden, also die stärkste Signalstärke für den Betrachter haben? Die Informationsentnahme ist verschiedenen Wahrnehmungsleistungen zuzuordnen, die sich in drei Gruppen aufgliedern: der frühen (präattentiven) Wahrnehmung, der Erkennung (attentive Wahrnehmung) und dem visuell gesteuerten Verhalten (Mallot, 2006).

Bei der präattentiven Leistung handelt es sich um eine Sammlung von Daten eines Bildes dessen Ergebnis mit einer „Karte“ zu vergleichen ist. Es werden die fünf Wahrnehmungsdimensionen erfasst und für diese Art von visuellen „Karten“ verwendet. Es handelt sich um Kontrast, Form, Farbe, Tiefe und Bewegung (Mallot, 2006). Erkennungsleistungen, also die attentive Wahrnehmung, sind dadurch charakterisiert, dass Objekte erfasst werden, anstatt wie bei den präattentiven Leistungen das gesamt Bild in den Fokus zu nehmen. Diese Objekte müssen aber erst durch Mechanismen der Aufmerksamkeit wie der Muster- und Objekterkennung selektiert werden. Ziel ist es nicht eine „Karte“ zu entwickeln, sondern über einzelne Objekte ein „Urteil“ zu bilden (Mallot, 2006). Resultat der Wahrnehmung ist also, dass Bildelemente zu Objektrepräsentationen zusammenfasst werden (Ansorge & Leder, 2011; Mallot, 2006). Und zuletzt findet Wahrnehmung in einer Umwelt statt, auf die das wahrnehmungsgesteuerte Verhalten z. B. durch Orientierungs-reaktionen zurückwirkt (Mallot, 2006).

Der Blick aus der Medienforschung auf das Bildverstehen bzw. die Bildwahrnehmung, hat vor allem die Absicht des adäquaten Einsatzes von Bildern, d. h. die Berücksichtigung der Gestaltungsmaxime in Medien. Es wird vor allem die Art der Darstellung und die Darstellungsintention des Bildautors hinterfragt, anstatt die inneren kognitions-psychologischen Prozesse zu beschreiben. Wie muss das Bild folglich aussehen, so dass der Betrachter einen Lernerfolg hat, lautet die Frage aus Sicht der Medienforschung.

Hierbei wird zwischen einem natürlichen und einem indikatorischen Bildverstehen unterschieden. Das natürliche Bildverstehen meint das Erfassen des Dargestellten auf einen Blick, wie beispielsweise das automatisierte „Lesen“ der Schilder beim Autofahren. Beim indikatorischen Bildverstehen erfasst der Betrachter die Aussage des Bildes (z. B. das Stoppzeichen im Straßenverkehr) auf den ersten Blick und reagiert darauf. Die beiden dargestellten Prozesse laufen weitgehend unbewusst ab. Hingegen ist das vollständige Identifizieren der Bilddetails ein attentiver Prozess des natürlichen Bildverstehens. Darüber-hinausgehend ist das umfassende Extrahieren der visualisierten Argumente und Fakten Teil des bewussten indikatorischen Bildverstehens. In dieser Stufe werden die Darstellungsintentionen des Bildautors hinterfragt und die semantische Aussage des Bildes untersucht.

3 Blickbewegungen – die Möglichkeit kognitive Prozesse abzubilden

Unter Augenbewegungen (Okulomotorik) versteht man die Gesamtheit aller motorischen Ausdrucksformen und Varianten, die den Augäpfeln zur Verfügung stehen, sich bewusst oder unbewusst, willkürlich oder unwillkürlich in unterschiedliche Richtungen drehen zu können. Sie stellen die häufigste und schnellste Bewegung im menschlichen Körper dar (Bridgeman, 1992). Blickbewegungen sind im Gegensatz dazu Bewegungen, die in Verbindung mit den vom Auge aufgenommenen Informationen stehen und nicht ohne Objektbezug sind.

3.1 Visuelle Aufmerksamkeitssteuerung und Blickbewegungen

Die Prozesse der visuellen Aufmerksamkeit resultieren nach Knudsen (2007) in Orientierungsreaktionen, die sowohl offen und sichtbar als auch verdeckt ablaufen können. Der Großteil des Gesamteindruckes wird demnach zunächst peripher wahrgenommen (Eysel, 2007; Itti & Koch, 2001). Typischerweise folgen aber auf verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerungen auch beobachtbare Orientierungsreaktionen (Itti & Koch, 2001). Und somit ist die „Blickrichtung (ist) ein populäres Maß für die Zuwendung der Aufmerksamkeit“ (Ansorge & Leder, 2011, S. 58).

Zum offenen Orientierungsverhalten mit unterschiedlicher zeitlicher Dynamik zählen nach Eysel (2007) mindestens drei basale Strukturkomponenten: die Fixationen, die Sakkaden und vestibuläre Augenfolgebewegungen.

Fixationen:
Die Messung der Fixationsdauer ist das am häufigsten zur Analyse herangezogene Maß der Eye Tracking Forschung. Eine Fixation ist definiert als eine Zeitspanne, bei der das Auge still steht (Eysel, 2007; Joos, Rötting, & Velichskovsky, 2003). Bei der Bildwahrnehmung wird eine mittlere Fixationsdauer von 200-330 ms angenommen (Holmquist, 2011; Joos, Rötting, & Velichskovsky, 2003; Rayner & Pollatsek, 1992; Just & Carpenter, 1976).

Sakkaden:
Sakkaden sind schnelle sprunghafte Bewegungen unserer Augen mit einer Dauer von 10-80 ms von einem Fixationspunkt zum anderen (Eysel 2007), die sowohl reflexhaft oder gezielt ausgeführt werden können. Die Sakkadenamplitude kann wenige Winkelminuten aber auch bis zu 90° betragen (Eysel, 2007). Sakkaden sind wegen der hohen Winkelgeschwindigkeit für den Menschen nicht wahrnehmbar.

Augenfolgebewegungen:
Wenn ein Objekt mit den Augen verfolgt wird, dann spricht man von Augenfolgebewegungen. Die Winkelgeschwindigkeit des Objektes entspricht in diesem Fall der Winkelgeschwindigkeit der Augenfolgebewegung, sofern das Objekt sich nicht schneller als 100°/s bewegt (Eysel, 2007).

3.2 Zusammenhang von Blickbewegungen und kognitive Prozessen

Blickbewegungen erlauben uns den Rückschluss auf kognitive Prozesse oder mit den Worten Hendersons *„eye movements serve as a window into the operation of the attentional system"* (Henderson, Brockmole, Castelhano, & Mack, 2007, S. 498). Das Zusammenspiel von visueller Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Verarbeitung kann als „attentional feedback loop" interpretiert werden, denn *„attentional cycles of disengaging attention, shifting of attention and the eyes, re-engaging attention and brain regions for processing the region of interest currently being attended to"* (Duchwoski, 2007, S. 16). Demnach sind Fixationen als Ausdruck bewusster oder unbewusstem Bestrebens Objekte wahrzunehmen und zu interpretieren (Duchowski, 2007).

Dieser Folgerung schließt sich auch Knudsen (2007) an und erklärt anhand seines Modells (vgl. Abb. 7), dass sowohl das Arbeitsgedächtnis als auch die Top-down Kontrollprozesse verantwortlich dafür sind, auf welchen der zunächst nur peripher wahrgenommene Reize nun der Blick gerichtet wird. Die willentlich (volitional) gesteuerte Aufmerksamkeit ist somit eine Komponente der iterativen Steuerungsschleife, die für die kontinuierliche Verarbeitung von Umgebungsreizen verantwortlich ist.

3.2.1 Exogener Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung – Aspekte der Bottom-up Verarbeitung

Dieser affektiv-intuitive Modus einer externen Blicklenkung aufgrund eines Reiz-Reaktions-Schemas gilt als relativ ungesteuert und hoch invariant zwischen Individuen. Bestimmte Reize führen bei fast allen Menschen zu dem gleichen Verhalten (Schneider & Maasen, 1998). Wahrscheinlich handelt es sich um ein menschliches Wahrnehmungsverhalten, das evolutionsbiologisch angelegt ist. Nach Geise (2011) gibt es starke Indizien für die Annahme, dass sich die visuelle Wahrnehmung stärker durch die Charakteristika des Stimulus beeinflusst wird und weniger durch individuelle Merkmale der Rezipienten (Geise, 2011).

Prägnantes Beispiel für die personenübergreifenden Wahrnehmungsmuster sind die Ergebnisse der Studie zur Wahrnehmung von Wahlplakaten von Geise, die sogenannten

Aufmerksamkeitslandschaften aus verschiedenen Gruppen und Zeitpunkten übereinanderlegte (Geise, 2011). Die Blickverlaufsanalysen zeigen identische Muster.

Weitere Studien belegen, dass Eigenschaften wie Farbe, Helligkeit, Sättigung oder Textur in einer frühen Phase der Bildbetrachtung einen Einfluss auf die visuelle Aufmerksamkeit haben (Itti & Koch, 2001; Frey, König, & Einhäuser, 2007; Henderson, 2003). Anhand von Salienzkarten konnten Parkhust et al. den Zusammenhang von Bildeigenschaften (Farbe, Kontrast und Orientierung) und Blickbewegungen nachweisen (Parkhust, Klinton & Ernst, 2002). Sie bildeten eine herkömmliche Bildszene anhand der drei Bildeigenschaften als Salienzkarte ab, dann legten sie das ursprüngliche Bild den Probanden vor. Es zeigt sich, dass die ersten Fixationen in starkem Zusammenhang mit der Salienzkarte standen. Im weiteren Verlauf dominierten andere Faktoren die Blickbewegungen (Goldstein, 2008).

3.2.2 Endogener Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung – Aspekte der Top-down Verarbeitung

Der im vorherigen Kapitel beschriebene Bottom-up Verarbeitung steht die Top-down Verarbeitung als bewusst intendierter Verarbeitungsprozess gegenüber.

Die frühen Scanpath-Analysen von Yarbus zeigen, dass die Blickverläufe in Abhängigkeit von individueller Rezeptionsintentionen, Erwartungen oder Anforderungen erheblich divergieren können (Duchowski, 2007). Denn zum Beispiel beeinflusst auch das Wissen des Betrachters die Blickbewegungen. Verfügt der Betrachter bspw. über Kenntnisse, wie eine Arztpraxis oder Büro ausgestattet sind, steuert er in Blickbewegungsstudien seine Blicke hin zu bedeutsamen Bildbereichen und vermeidet bedeutungsleere bei der Betrachtung von entsprechenden Szenen (Goldstein, 2008).

Dass Expertenwissen sich auf die Blickbewegungen auswirken kann, zeigen weitere Studien mit unterschiedlichen Aufgabenformaten (arithmetische Aufgabe, induktives Schließen etc.) und Altersgruppen (Erwachsene und Kinder) (Dillon, 1985; Haider & Frensch, 1999). Blickbewegungen erlauben offensichtlich den Rückschluss auf die Erfahrung. Denn die Experten identifizierten schneller die für die Lösung relevanten Aspekte einer Aufgabe. Außerdem nahmen sie schneller die relevanten Informationen auf und zeigten insgesamt ein ökonomischeres Blickmuster auf. Darüber hinaus zeigt die Analyse der Blicksprünge, dass Experten Beziehungen zwischen inhaltlichen Elementen ziehen (Nodine, Locher, & Krupinski, 1993; Engelbrecht, Betz, Klein & Rosenberg, 2011). Novizen hingegen verharrten häufiger und länger auf die für die Lösung irrelevanten Aspekte der Aufgabe (Goldstein, 2008). Gleichzeitig werden relevante Teile der dargebotenen Aufgabe nur wenig oder gar nicht beachtet (Funke & Spering, 2006).

Darüber hinaus werden Blickbewegungen von dem Informationsgehalt des Reizes her moduliert. Je höher der semantische Informationsgehalt ist, desto häufiger wird dieser Bereich fixiert und damit tiefer verarbeitet (Hollingworth & Henderson, 1998).

Die bisherigen Ausführungen ermöglichen folgende Zusammenfassung für die Verarbeitungswege visueller Reize. Weder die Top-Down noch die Bottom-up Einflüsse beeinflussen Blickbewegungen alleinig. Das Aufmerksamkeitsmodell von Knudsen geht von kombinierten Effekten aus, in Bezug auf die Qualität von Bottom-up Salienzfiltern und Top-Down Signalen.

3.2.3 Prämissen für die Auswertung und Interpretation von Blickbewegungsdaten

Folgende Prämissen bilden das Grundgerüst für die Interpretation von Blickbewegungsdaten. Nach bisherigem Wissensstand lassen Blickbewegungsdaten Rückschlüsse auf die Verteilung, Tiefe und Verarbeitungsleistung zu, denn es bestehen zwischen den Blickbewegungen und der Informationsverarbeitung nachweisbar starke Interdependenzen (Geise, 2011; Joos, Rötting & Velichskovsky, 2003).

Just & Carpenter gingen der Frage nach, ob ein Zusammenhang zwischen der Fixationsdauer und der Tiefe der kognitiven Verarbeitung besteht und bestätigen diesen. Ihre Forschungsarbeiten liegen zwei Hypothesen zugrunde. Zum einen prüfen sie die Annahme der unmittelbaren Verarbeitung (immediacy assumption) trotz komplex ablaufender Verarbeitungsprozesse auf mehreren Ebenen, wie der Festlegung der Wortbedeutung, Herstellung der Referenz im Satz und der Satzstellung des Inhaltswortes. Der Leser versucht also jedes Inhaltswort unmittelbar zu interpretieren, auch wenn er notfalls raten muss. Diese direkte Verarbeitung vermeidet ein Überstrapazieren der kognitiven Kapazität. Die erste Prämisse lautet demnach, dass die visuell wahrgenommenen Reize vom Rezipienten direkt und unmittelbar verarbeitet werden.

Auch Brosius untersuchte in seiner Studie über die Verarbeitung visuell präsentierter Szenen, ob Blickbewegungsparameter Indikatoren für Art und Güte der ablaufenden Verarbeitungsprozesse sind (Brosius, 1983). So zeigen diese beiden Studien und auch weitere, dass die Fixation an sich darüber Auskunft gibt, welches Objekt gerade mental verarbeitet wird und die Dauer der Fixation ein Indikator für die kognitive Verarbeitung ist (Just & Carpenter, 1980).

Ebenso vor dem Hintergrund hierarchischer Verarbeitungsmodelle liegt die Vermutung nach einem Zusammenhang zwischen der Fixationsdauer und der Tiefe der kognitiven Verarbeitung nahe. Der Wahrnehmungsprozess kann als eine Phase des perzeptiven Dekodierens von Objektmerkmalen einer anschließenden semantischen Kategorisierung und darauffolgender metakognitiven Verarbeitung gesehen werden (Geise, 2011). Velichkovsky,

Sprenger und Pomplun konnten durch ihre experimentellen Studien, bei denen die Probanden Gesichter erkennen mussten, dieses nachweisen. Die Ergebnisse sprechen für eine selektive Beeinflussung der Fixationsdauer in Abhängigkeit der Komplexität der Aufgabe. Je nach Aufgabe veränderte sich die Fixationsdauer der Verarbeitungsphase (Velichkovsky, Sprenger & Pomplun, 1997).

Diese zweite Prämisse, die sogenannte „eye-mind assumption“, wurde die Grundlage vieler weiterer Forschungsvorhaben im Kontext der Blicksteuerung (Just & Carpenter, 1980). Ein Rezipient verarbeitet demnach die kognitiven Reize so lange, wie er sie auch fixiert. Einige empirischen Studien weisen allerdings daraufhin, dass die Zeit und die Verarbeitungstiefe nicht exakt kongruent sind, da in einer Studie, Worte erst nach einer Verzögerung von 100 ms nach Ende der hinführenden Sakkade erkannt wurden (McConkie, Underwood, Zola, & Wolverton, 1985). Möglicherweise teilt sich die Aufmerksamkeit in die Wahrnehmung der peripher und zentral liegenden Objekte auf, der Großteil liegt aber wahrscheinlich auf dem Zielobjekt (Geise, 2011).

3.2.2 Fixationen und fixationsbezogene Indikatoren

Fixationen zählen wohl zu den am häufigsten verwendeten Messgrößen in Blickbewegungsstudien. Vor allem deswegen, weil gemäß der „immediacy assumption“ die Informationsaufnahme während der Fixationen stattfindet und es eine Übereinstimmung zwischen dem Fixationsort und der visuellen Aufmerksamkeit gibt (Just & Carpenter, 1976; Rayner & Pollatsek, 1992). Der „eye-mind assumption“ zufolge ist es wahrscheinlich, dass bei längerer Blickverweildauer ein höherer Grad der Informationsaufnahme erreicht wird (Velichkovsky, 2001).

Gibt es Schwellenwerte für lange und kurze Fixationsdauern, die den Grad der Informationsaufnahme anzeigen? Wie lässt sich die Fixationsdauer überhaupt interpretieren? Bedeutet eine längere Fixation eine hohe Interessiertheit des Probanden oder ist es ein Maß der Beanspruchung des Rezipienten durch eine zu hohe Komplexität?

Rötting weißt darauf hin, dass die Fixationsdauern in Abhängikeit der jeweiligen Aufgabe zu deuten sind. Beansprucht die Aufgabe hohe kognitive Verarbeitungen, wird dementsprechend die Fixationszeit länger sein und ist dann ein Indikator für eine hohe Beanspruchung (Rötting, 2001). Andere Autoren führen eine längere Fixationsdauer auf vorhandene Expertise zurück: Hatten die Probanden viel Erfahrung, waren die Fixationen bei Experten länger als bei Novizen (Holmquist, 2011). Dies wurde bei Studien aus den Bereichen Kunst, Schach oder im Sport beobachtet. Die Erklärung dafür ist, dass Experten mehr Informationen aus dem direkten Umfeld ziehen und somit eine höhere Effizienz als die Novizen aufweisen (Lochner & Krupinski, 1993; Holmquist, 2011).

Dass die Fixationszeiten abhängig von der Aufgabenstellung ist, zeigte schon Yarbus in frühen Studien beim Betrachten von Bildern. Je nach Aufgabenstellung fielen die Fixationen länger oder kürzer aus (Yarbus, 1967). Die Fixationsdauer ändert sich aber im Verlauf der Rezeptionsphase. So beginnt die Erkundung des Stimulus mit einer Orientierungsphase, bei der normalerweise eher scannende Anteile ohne lange Fixationen, lange Sakkaden und die Blicke auf visuell hervorgehobene Elemente ausgerichtet werden (Bucher & Schumacher, 2013).

Ob bei der Analyse die summierte Fixationsdauer oder einzelne Fixationen in Betracht gezogen werden, hängt von der jeweiligen Forschungsfrage ab (Geise, 2011). Steht eher die Betrachtung der Aufmerksamkeitsverteilung im Vordergrund, wird eher die summierte Fixationsdauer herangezogen, wird hingegen eine Detailbetrachtung vorgenommen, sind es eher einzelne Fixationen.

Die Anzahl der Fixationen ist ein hervorragender Parameter, um den erforderlichen Arbeitsaufwand abzubilden (Goldberg & Kotval, 1999). Goldberg & Kotval interpretieren eine vergleichsweise geringe Anzahl an Fixationen als Indikator für einen trainierten Rezipienten (Goldberg & Kotval, 1999) und auch als Zeichen für eine hohe Komplexität des Bildbereiches interpretiert werden (Rötting, 2001). Ein Vergleich der Anzahl der Fixationen, für die in Frage kommenden Bildbereiche (Area of Interest), könnte hier aussagekräftiger sein als die absolute Anzahl an Fixationen (Rötting, 2001; Geise, 2011).

Unter Fixationshäufigkeit ist die Anzahl von Fixationen für einen bestimmten Zeitraum innerhalb eines festgelegten Areals (Area of Interest) zu verstehen (Hollingworth & Henderson, 1998). Aus den Untersuchungen von Buswell geht hervor, dass in den ersten beiden Minuten der Betrachter sich einen Eindruck über die Bildelemente verschafft, während im Anschluss die kognitive Verarbeitung der inhaltlichen Elemente Vorrang hat (Buswell, 1935; Rayner, 1998). Dabei werden vor allem die Bildbereiche mit höherem Informationsgehalt häufiger fixiert als die mit weniger Informationen (Hollingworth & Henderson, 1998). Somit zeugt die Anzahl an Fixationen für einen bestimmten Bildausschnitt für eine tiefere kognitive Verarbeitung.

Sind es aber die visuellen Reizmuster eines Bildes, die den Blick auf sich ziehen oder erfolgt die Blicksteuerung beim Betrachten durch eine bewusste kognitive Entscheidung?

Henderson et al. untersuchten genau diese Fragestellung. Durch ihre Forschungsarbeiten wollen sie zum einen die „visual saliency“ – Hypothese prüfen, nach der die Fixierungen durch die Bildeigenschaften wie bspw. dem Kontrast oder der Kontur gelenkt werden und zum anderen das Informationsangebot für das Bottom-up-Verarbeitungssystem bilden. Oder wird die Blicklenkung durch das kognitive System gesteuert, indem genau die Objekte fixiert werden, die als relevant empfunden werden, die so genannte „cognitive control“ – Hypothese (Henderson, Brockmole, Castelhano & Mack, 2007).

Henderson et al. folgern aus ihren Ergebnissen, dass es nicht möglich ist den Fixationsort aufgrund der visuellen Reize (z. B. Kontur, Kontrast etc.) eines Bildes vorherzusagen. Weiter zeigen sie, dass es eher auf die Bedeutung der dargestellten Bildelemente ankommt als auf die visuelle Auffälligkeit. Zu diesem Schluss gelangen sie, weil sich die fixierten Regionen von nicht-fixierten Regionen unterscheiden, wenn man dem Bildinhalt semantisch bewertet. Zwar werden ebenfalls auffällige Objekte fixiert, aber nur diejenigen, die relevant sind (Henderson, Brockmole, Castelhano, & Mack, 2007). Alle beobachteten Korrelationen zwischen Fixationsorten und Bildeigenschaften wurden aufgrund ihrer inhaltlichen Bedeutung gewählt und nicht nur wegen ihrer visuellen Auffälligkeit. Rayner fasst die Ergebnisse zahlreicher Studien folgendermaßen zusammen *„Thus, the information used to guide eye movements has two sources: the saliency of the scene and the information in memory about that scene and scene type"* (Rayner, 2009).

3.2.3 Sakkaden und sakkadenbezogene Indikatoren

Sakkaden sind schnelle sprunghafte Bewegungen unserer Augen, welche die nächste Fixation einleiten. Die Auswertung der Sakkadenlänge gehört zu den am häufigsten verwendeten Indikatoren. Sie beschreibt die Weite zwischen zwei Fixationen und dient oft als Kennzahl für Orientierungsreaktionen.

Setzt man globale und lokale Sakkaden miteinander ins Verhältnis, erhält man einen Indikator, um professionelle versus ungeübte Leser voneinander zu unterscheiden (Goldberg & Kotval 1999). Unter globalen Sakkaden sind solche zu fassen, die oberhalb eines zuvor festgelegten Schwellenwertes liegen. Alle übrigen sind lokale Sakkaden. Ein höherer scanpath ratio deutet auf eine höhere Suchaktivität hin und kann ein Indiz für die Anwendung von mehr Top-down Strategien beim Betrachten des Satellitenbildes sein (Zangemeister, Sherman & Stark, 1995).

Ein weiterer inhaltsunabhängiger sakkadenbezogener Indikator ist zudem das Verhältnis zwischen Fixationen, also Komponenten der Informationsaufnahme, und Sakkaden, in denen der Rezipient in der Regel keine Informationen aufnimmt. Dieses Verhältnis kann als Indikator der Informationsverarbeitungsanforderung angesehen werden. Es ist möglich das Ergebnis als intensive Verarbeitung oder aber auch einer geringen Suchaktivität zu interpretieren (Goldberg & Kotval, 1999).

4 Der Einsatz von Satellitenbildern im Geographieunterricht

4.1 Bildungsstandards und Kompetenzen in der Geographiedidaktik

Der maßgebliche Impuls für die Erstellung von nationalen Bildungsstandards für die Fächer Deutsch, Mathematik, Erste Fremdsprache (Englisch, Französisch), Physik, Chemie und Biologie durch die Kultusministerkonferenz war das nur mittelmäßig Abschneiden der deutschen Schüler in der internationalen Vergleichsstudie PISA aus den Jahren 2000 und 2003. Die Ergebnisse der PISA Studie 2003 zeigen zwar einen deutlichen Kompetenzzuwachs in allen fachlichen Domänen gegenüber dem Abschneiden im Vergleich zur PISA Studie von 2000. Im internationalen Vergleich lag Deutschland hingegen nur im mittleren Bereich des Durchschnitts der OECD (Prenzel, et al., 2003).

Mit der Einführung der nationalen Bildungsstandards reagiert die Kultusministerkonferenz auf die erschütternden Ergebnisse der Vergleichsstudien und schuf Maßnahmen, die es erlauben, den Bildungsstand von Schülern regelmäßig und kontinuierlich zu erfassen. In den nationalen Bildungsstandards werden die Festlegungen der Kompetenzen formuliert, die mit dem Abschluss des mittleren Bildungsabschlusses erreicht werden sollen. Sie sind als zentrales Instrument des Bildungsmonitorings zu verstehen und werden durch Vergleichsarbeiten während und am Ende der Sekundarstufe I evaluiert (Labudde, Duit, Fickermann, Fischer, & Harms, 2009).

Neben der Überprüfungsfunktion ist mit Implementierung der Bildungsstandards ein Motor für die systematische Weiterentwicklung der Lehr- und Lernforschung installiert worden. Die Aufgabe der fachdidaktischen Forschung ist in diesem Zusammenhang nun „die zu erreichenden Kompetenzen in ihrer Struktur und ihrem Entwicklungsverlauf zu modellieren, um auf die empirische Evidenz aufbauend Unterrichtskonzepte zu entwickeln, mit denen die Bildungsstandards erfolgreich im Unterricht umgesetzt werden können“ (Labudde, Duit, Fickermann, Fischer, & Harms, 2009).

Damit wird sich am Output, dem Ergebnis der Lehr- und Lernprozesse, orientiert und ein entscheidender Paradigmenwechsel eingeläutet. Während bisher der Blick auf dem Input, im Sinne der klassischen Wissensorientierung lag, wird nun vom Ergebnis was Schüler an Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickelt haben, hergedacht. Es geht nicht mehr nur um Wissensaneignung, sondern um die Fähigkeit erworbenes Wissen in unbekannten Kontexten anzuwenden (Hoffmann, 2009)

Vor diesem Hintergrund wird in der geographischen Fachdidaktik die Diskussion um Kompetenzen im Rahmen einer umfassenden geographischen Gesamtbildung diskutiert. Die Geographiedidaktik hat in dieser Diskussion insofern eine Sonderrolle, da die Standards für den mittleren Bildungsabschluss von der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) und nicht von der Kultusministerkonferenz formuliert wurden, indessen der Fächer Deutsch,

Mathematik, Erste Fremdsprache (Englisch, Französisch), Physik, Chemie und Biologie (DGfG, 2014).

Darin werden die zu entwickelnden Kompetenzen beschrieben, um das Leitziel des heutigen Geographieunterrichts, nämlich die Einsicht in komplexe Wirkmechanismen zwischen den natürlichen Gegebenheiten und den gesellschaftlichen Aktivitäten, eine verantwortungsvolle raumbezogene Handlungskompetenz (Hemmer & Hemmer, 2007; Hoffmann, 2009) zu entwickeln. Mit spezifischen Methoden werden die Schüler im Geographieunterricht zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung angeleitet ohne die gesellschaftliche Dimension außer Acht zu lassen (Hemmer & Hemmer, 2007). Denn die komplexen Wirkmechanismen, wie der Klimawandel, Erdbeben und Hochwasserkatastrophen prägen unser Leben auf der Erde, sind aber gleichzeitig aufgrund von den Wechselwirkungen zwischen den naturgeographischen Gegebenheiten und menschlichen Aktivitäten entstanden.

Die oben dargelegte Gesamtkompetenz des Fachs Geographie wird in die Kompetenzbereiche Fachwissen, Räumliche Orientierung, Erkenntnisgewinnung/Methoden, Kommunikation, Beurteilung/Bewertung und als Merkmal für den gesellschaftswissenschaftlichen Anteil den Bereich Handlung differenziert. Die Räumliche Orientierung ist das Alleinstellungsmerkmal der Geographie, worunter die Kenntnis grundlegenden topographischem Orientierungswissen, die Fähigkeit zur Einordnung geographischer Objekte und Sachverhalte in räumliche Ordnungssysteme sowie die Fähigkeit zur Reflexion von Raumwahrnehmung und -konstruktion gefasst sind (Hemmer & Hemmer, 2007).

Satellitenbilder werden unter dem Kompetenzbereich Beurteilung/Bewertung sowie Erkenntnisgewinnung/Methoden in den Bildungsstandards des Faches Geographie als eine mögliche Informationsquelle aufgeführt (Hemmer & Hemmer, 2007).

4.2 Satellitenbilder im Bildungsplan für das Gymnasium in Baden-Württemberg

Im Bildungsplan für Gymnasien in Baden-Württemberg lautet das übergeordnete Ziel des Geographieunterrichts, die Entwicklung eines raumbezogenen und systemischen Denkens der Schüler und damit einhergehenden sicheren Umgang mit komplexen Sachverhalten. Unter systemischer Kompetenz wird „die Fähigkeit, komplexe Wirklichkeitsbereiche als Systeme zu beschreiben, zu rekonstruieren und zu modellieren und auf der Basis der Modellierung Erklärungen zu geben, Prognosen zu treffen und Handlungsmöglichkeiten zu entwerfen und zu beurteilen“ (Ministerium für Kultus, 2016, S. 4) verstanden. Die Schüler sollen zunächst über phänomenologische Zugänge, später dann über problemorientierte Zugänge die beschriebene Kompetenz entwickeln.

Der Geographieunterricht fördert durch die Beschäftigung mit den Natur- und Kulturräumen die Entwicklung *inhaltsbezogener* sowie fachspezifischer und fächerübergreifender *prozessbezogener* Kompetenzen (Ministerium für Kultus, 2016).

Letztgenannte *prozessbezogene* Kompetenzen reichen von der Orientierungs-, Analyse- und Beurteilungskompetenz bis hin zu Handlungs- und Methodenkompetenz. Ziel ist es aktuelle Sachstände zu erkennen, zu bewerten und zu handeln. Dazu bedient sich die Geographie zahlreicher Methoden, die letztendlich auch der Entwicklung fächerübergreifender Methodenkompetenzen nutzt. Satellitenbilder werden im Bildungsplan explizit unter „Methodenkompetenz“ genannt und zählen wie Karten und Luftbilder zu den Informationsmaterialien, die es zu analysieren gilt (Ministerium für Kultus, 2016).

Damit die Schüler komplexe Raumstrukturen oder Entwicklungen erkennen und bewerten, benötigen sie neben prozessbezogenen Kompetenzen ebenso fachliche Grundkenntnisse. Diese *inhaltsbezogenen* Kompetenzen werden durch Auseinandersetzung mit den Teilbereichen der Geographie wie der Atmosphäre, Gesellschaft etc. erlangt.

4.3 Didaktisches Potenzial von Satellitenbildern

„Es eröffnen sich ganz neue Forschungsbereiche, indem es erstmals möglich wird, rasch veränderliche Landschaftselemente und dynamische Landschaftsprozesse in ihrem räumlich zeitlichen Ablauf über große Gebiete hinweg genau zu erfassen“ (Haefner in Bär 1977, S. 145).

Dieses Zitat, einer geographiewissenschaftlichen Zeitschrift aus dem Jahr 1977 entnommen, antizipiert den Einsatz von Fernerkundungsdaten in den Geowissenschaften, der zu diesem Zeitpunkt aufseiten der Raumfahrt bereits angestoßen war. Schon im August 1959 lieferte

der Satellit Explorer ein erstes Raumbild von der Erde. Kurz darauf starteten die Tiros-Satelliten und der Grundstein für eine systematische Beobachtung aus dem Weltall ist implementiert worden (Bär, 1977). Der Informationsgehalt der Aufnahmen steigt durch die Entwicklung neuer Sensoren ständig und für die auswertenden und anwendenden Wissenschaften eröffnen sich ganz neue Forschungsgebiete. Die Fernerkundung hat in der Fachwissenschaft eine beeindruckende Entwicklung erfahren und zählt heute zu einem zentralen Hilfsmittel des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns weit über die Geographie hinaus.

Nicht nur für die Fachwissenschaften haben Satellitenbilder durch ihre zeitlich-räumliche Synopse, der Aktualität, der hohen Verfügbarkeit und dem möglichen Einblick in schwer zugängliche Gebiete ein hohes Leistungsvermögen. Darüber hinaus verfügen Fernerkundungsdaten ebenso ein großes didaktisches Potenzial (Kestler, 2002), dessen Vorteile für einen zeitgemäßen Geographieunterricht ausgeschöpft werden sollten. Allein im Sinne der Wissenschaftsorientierung ergibt sich eine fachliche Begründung für den Einsatz von Satellitenbildern im Unterricht (Kestler, 2002). Von der Fragestellung bis zu deren Beantwortung wird anhand der Bilder eine etablierte Arbeitsmethode mit all ihren methodischen Herangehensweisen der Geographie exerziert.

Die Untersuchungen von Ditter zeigen, dass die Arbeit mit Satellitenbildern motivationssteigernd und lernfördernd auswirken, sowohl für Schüler der Realschule als auch des Gymnasiums. Eben dieser belegt zudem eine signifikante Veränderung des Selbstbestimmungsindex, der als bedeutsamer Prädiktor für die Lernleistung gilt (Ditter, 2014).

Eine Besonderheit des Geomediums Satellitenbild liegt zweifelsohne darin, dass die Aufnahme ein genaues Abbild der Wirklichkeit ist und alle aus der Luft sichtbaren Objekte enthalten sind (Albertz, 2007; Gerber, 2005). Der Betrachter erhält eine Draufsicht auf räumliche Strukturen, die er vom Boden oder einer topografischen Karte in ihrer Gesamtheit nicht in dieser detaillierten Form erfassen könnte (Reuschenbach, 2009). Reuschenbach folgert die Förderung des Vorstellungsvermögens daraus, jedoch fehlt der empirische Beweis für die Förderung dieser Fertigkeit (Reuschenbach, 2009).

Aufgrund der Bildwirkung und dem bereits erwähnten ungewohnten Blickwinkel werden Emotionen beim Betrachter erweckt und Informationen bleiben besser in Erinnerung (Gerber & Reuschenbach, 2005). Das Satellitenbild beschreibt Brucker nicht ohne Grund als „ungewohnt, überraschend, reizvoll und faszinierend“ (Brucker, 1981) von dem ein „Hauch von Weltraum ausgeht“ (Reuschenbach, 2009). Diese Eigenschaften sind der „Türöffner“ für die Aufmerksamkeit der Schüler, um anschließend einer wissenschaftlichen Fragestellung nachzugehen. Das Interesse und die von den Bildern ausgehende Motivation belegt eine internationale Vergleichsstudie von Siegmund bei Jugendlichen. Aus der Stichprobe empfanden 60% der Jugendlichen Satellitenbilder als interessant (Siegmund, 2011).

Das Arbeiten mit Satelliten- und Luftbildern empfinden Schüler „vor allem als brauchbar, anspruchsvoll und wirklichkeitsnah“ (Kestler, 2002, S. 283). Im Gegensatz zur Karte werden die primären Informationen weder gruppiert noch generalisiert und müssen vom Betrachter erst identifiziert und entschlüsselt werden (Albertz, 2009; Kestler, 2002). Dazu ist die Informationsdichte von Satellitenbildern durch die verschiedenen zur Verfügung stehenden Wellenlängenbereiche sehr hoch, komplex und mehrschichtig (Albertz, 2009; Gerber, 2005; Hassenpflug, 1996).

Das Einbeziehen der thermalen und infraroten Kanäle des Satelliten geht über die sinnliche Wahrnehmung der menschlichen Fähigkeiten hinaus und ermöglicht die Erkundung flächendeckender phänomenologischer Ereignisse hin zu tiefgründiger qualitativen Analysen, wie beispielsweise der Vitalität der Vegetation nach einem Schädlingsbefall. Für viele Forschungsgebiete leisten Fernerkundungsdaten den erwünschten Erkenntnisgewinn. Ob als Monitoring durch den Vergleich verschiedener Zeitpunkte, um beispielsweise naturräumliche Veränderungen zu quantifizieren oder um den Zustand eines Erdausschnittes zu dokumentieren und zu beschreiben (Kestler, 2002).

Das bildliche Festhalten des „Augenblickszustands“, gibt die Möglichkeit Naturereignisse, wie beispielsweise die Auswirkungen des Tsunami in Südostasien, zu verfolgen und Schüler direkt an der Thematik teilnehmen zu lassen. Dies ist von entscheidendem Vorteil, da geographisches Wissen in Lehrbüchern üblicherweise aus zweiter oder dritter Hand stammt und nicht mehr aktuell genug ist. Zum Beispiel ist der Landnutzungswandel in der Ukraine auf Karten und in Statistiken falsch dargestellt und rezente Veränderungen wie Übernutzung, Versalzung und Verwüstung nicht ersichtlich (Hassenpflug, 1996). Weiterhin können Satellitenbilder einen großen Beitrag in der Bildung nachhaltiger Entwicklung leisten, da anhand derer sich ökologische, ökonomische und soziale Fragestellungen erarbeiten lassen (Haspel & Jahn, 2014).

Zudem hat sich deren Verbreitung um ein Vielfaches verbessert und Bildungseinrichtungen stehen aktuelle Satellitenbilder in unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Maßstäben auf internetbasierten Map-Servern zum kostenlosen Download zur Verfügung (z. B. www.landsat.org). Das räumliche Auflösungsvermögen variiert zwischen grob-, mittel- und hochaufgelösten Skalen. Erdbeobachtungssatelliten erzeugen kontinuierlich Datenmengen über den Zustand der Erdoberfläche und ermöglichen die Betrachtung der entlegensten Gebiete. Ganze Unterrichtseinheiten stehen ebenfalls für den Einsatz im Unterricht den Lehrkräften zur Verfügung (Fuchsgruber, Ditter & Siegmund, 2017).

Ebenso zum Spektrum der Vorteile für einen didaktischen Einsatz gehört das Innovationspotenzial des Geomediums Satellitenbild. Damit werden Lehrmethoden, wie sie dem wissenschaftspropädeutischen Lernen zuzuordnen sind, unterstützt. Hier ist beispielsweise das Entdeckende Lernen als ein induktiver Erkenntnisprozess zu nennen. Ebenso können neue Lernsituationen durch die Aufbereitung und Analyse von Fernerkundungsdaten angestellt werden. Daran knüpft die Arbeit mit dem Satellitenbild als

modernes Geomedium an und kann das Image der digitalen Medien positiv unterstreichen. Nebenbei dient es dem informationstechnischen Umgang, der im Kontext der Berufsvorbereitung in einem digitalen Zeitalter nicht zu vernachlässigen ist.

4.4 Das „Lesen“ von Satellitenbildern

Das „Lesen“ von Satellitenbildern heißt, eine Aussage über den Bildinhalt unter Einbeziehen der räumlichen und landschaftsgenetischen Zusammenhänge zu machen. Der Vorgang des Bildinterpretierens erfolgt somit über die Phasen des Beobachtens, des Erkennens und Identifizierens sowie der Analyse bis hin zur Klassifizierung (Löffler & Honecker, 2005). Das mehrschrittige Vorgehen beim „Lesen“ von Satellitenbildern findet sich in der Fachdidaktik wieder und wird unter anderem durch die Erkenntnisse der pädagogischen Psychologie aus dem Forschungsbereich Lernen mit Bildern, u.a. durch die Arbeiten von Weidenmann untermauert (Weidenmann, 1991).

Für das Bildverstehen im Allgemeinen sind nach Weidenmann grundsätzlich zwei verschiedene Prinzipien verantwortlich: das natürliche Bildverstehen und das indikatorische Bildverstehen. Reuschenbach überträgt diese beiden Axiome auf die Fernerkundungsdidaktik. Beim natürlichen Bildverstehen geht es zunächst darum, wie etwas abgebildet ist. Farben, Formen und Strukturen spielen hier die tragende Rolle und der Schwerpunkt liegt auf dem Erkennen, Beschreiben und Zuordnen der Merkmale (Straßen, Häuser, Vegetation). Das indikatorische Bildverstehen umfasst die eigentliche Interpretation des Bildinhaltes, das „Erklären und Begründen von Interpretationen, Einordnen des Bildes in einen inhaltlichen Kontext bzw. Zuordnung zu einem Thema, Herstellung eines Raumbezugs, Ableiten von Zusammenhängen, Beurteilen der Aussagekraft und des Informationsgehaltes des Bildes“ (Reuschenbach, 2009, S. 56).

Kollar erweitert diesen Ansatz und fasst die einzelnen Teilschritte aus der fachdidaktischen Literatur zu drei großen Phasen zusammen: die vorbereitende Auswertung, die eigentliche Bildauswertung und zuletzt die Darstellung der Auswertungsergebnisse (Kollar, 2012). Unter der vorbereitenden Auswertung ist die Bildorientierung, die Feststellung der Größenverhältnisse, der Aufnahmezeitpunkt, die Bildlokalisation und die Art der Aufnahme zu verstehen. Der Interpret verschafft sich durch diese Teilschritte zunächst einen groben Überblick über die Satellitenbildszene. Eine systematische Analyse beginnt meist erst mit der Beschreibung und Identifikation der Objekte, die so geordnet werden können, dass eine Gliederung des Bildinhaltes möglich ist. Grundsätzliche sind drei Grundtypen an Objekten zu unterscheiden: Flächen (z. B. Seen, Eis), Linien (z. B. Straßen, Flüsse) und Punkte (z. B. Häuser, Bäume). Die Identifikation dieser Grobstrukturen und der Teilbereiche eröffnet die genauere Analyse der räumlichen Strukturen. Der Kern der Arbeit mit Satellitenbildern ist, die Zusammenhänge, Abhängigkeiten und räumliche Verteilung der Objekte zu erkennen

und Rückschlüsse auf die Landschaftsgenese zu ziehen. Das Erkennen und die Interpretation laufen aber nicht getrennt ab, sondern vollziehen sich meist gemeinsam. Durch das Anlegen von Handskizzen etc. kann eine tiefere Analyse der räumlichen Strukturen unterstützt werden (Gerber & Reuschenbach, 2005; Kollar, 2012; Siegmund & Menz, 2005).

4.5 Schwierigkeiten beim „Lesen“ von Satellitenbildern und deren Einsatz im Geographieunterricht

Schwierigkeiten beim „Lesen“ von Satellitenbildern entstehen zum einen durch die spezifischen Eigenschaften der Satellitenbilder selbst, zum anderen ergeben sich aber auch Hemmnisse im Einsatz von Satellitenbildern durch konzeptionelle und systemische Missstände.

Im Gegensatz zur Karte wird bei Satellitenbildern keine Lesbarkeit durch Zuhilfenahme von einem Maßstab oder einer Legende ermöglicht, da die Objekte aufgrund von Größe, Farbe, Form, Textur erst interpretiert werden müssen (Albertz, 2007). Möglicherweise können Schattenwürfe, Verzerrungen oder auch aktuelle (Wetter-)Ereignisse (Wolken, Brände etc.) die Interpretation verkomplizieren und Wolken werden beispielsweise als Schnee erkannt (Reuschenbach, 2009). Die ungewohnte Perspektive erschwert zudem das „Lesen“ von Satellitenbildern, vor allem bei unbekannten Strukturen, wie beispielsweise Dünenformen oder wenn Meeresalgen das Bild der Ozeane verändern. Darüber hinaus gibt es keine Kategorien oder generalisierte Informationen, die mit einer einheitlichen Signatur versehen sind.

Der hohe Informationsgehalt von Satellitenbildern reizt zum einen den Betrachter sich tiefer mit dem abgebildetem Raum auseinanderzusetzen, kann andererseits auch ausgehend von der begrenzten Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung zu einer kognitiven Überforderung führen. Der Cognitive Load Theory (Sweller, 1994) folgend kommen hier noch weitere Prozesse (z. B. Diskriminierung) zu der eigentlichen Lernaufgabe (z. B. Erkennen der zeitlichen Veränderung von Städten) hinzu. Um eine Überforderung zu vermeiden, bedarf es guter Lernmaterialien, die beim Dechiffrieren des Bildes unterstützen und den Leser strukturiert anleiten. Dies kann beispielsweise durch die Einteilung des Bildes in Quadranten geschehen.

Der „Blick von oben“ ist außerdem eine ungewohnte Sichtweise für Schüler. Nadiraufnahmen verzerren die von der Bildmitte entfernten Objekte (Gerber & Reuschenbach, 2005). Es empfiehlt sich daher in der Schulpraxis auf entzerrte Bilder zurückzugreifen.

Oft werden von den Schülern Interpretationen verlangt, die ohne die Zuhilfenahme von weiteren Informationen (z. B. Topografischen Karten) oder gar durch Analyse der digitalen Bilddaten sowie Hinzunahme von Referenzwerten aus dem Gelände nicht zu leisten sind. Hier kommt es meist zu Mehrdeutungen oder Überinterpretationen, die den Schüler wegen mangelnder Eindeutigkeit eher frustrieren (Gerber & Reuschenbach, 2005).

Ein erfolgreicher Einsatz von Satellitenbildern in der Schule erfordert fachliches Wissen und methodische Kompetenzen aufseiten der Lehrenden. Da dieses Medium noch nicht genügend in der Schule etabliert und erst seit einigen Jahren in der Lehrerausbildung verankert ist, gibt es zahlreiche Lehrende mit keinen bis wenigen didaktischen und fachlichen Kenntnissen zum Einsatz von Satellitenbildern in der Schule. Oft bestehen aus diesem Grund große Unsicherheiten und die fehlende Vertrautheit im Umgang mit diesem Medium (Kollar, 2012). Teilweise muss außerdem ein gewisser Aufwand betrieben werden, um geeignete Bilder zu erhalten, damit sie im Unterricht gewinnbringend eingesetzt werden können. Es gibt allerdings einige Projekte an Hochschulen aus denen Lernmaterialien für den Unterricht hervorgingen: Arbeitsmaterialien (z. B. GLOKAL Change/PH Heidelberg), onlinegestützte Lernplattformen (FIS/Universität Bonn), schülergerechte Fernerkundungs-software (Blif/PH Heidelberg) sowie Fortbildungen für Referendare und Lehrer (GIS-Station/PH Heidelberg).

4.6 Zusammenfassung und Hinführung zu den Forschungsfragen der Studie

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, anhand der Blickbewegungen von Experten und Schülern das Blickverhalten beim Lesen von Satellitenbildern zu analysieren. Als Schluss daraus sollen didaktische und methodische Ableitungen zu einem adäquaten Einsatz von Satellitenbildern im Unterricht getroffen werden. Da die Satellitenbilder ein hohes didaktisches Potenzial besitzen sowie weitere lernfördernde Eigenschaften, wie die Erzeugung hoher Lernmotivation, bedarf es, das immer noch neue Medium und seinen Einsatz genauer zu untersuchen. Außerdem erlangten Satellitenbilder in den letzten Jahren eine immer größere Beliebtheit bei Schülern sowie Lehrern und werden häufiger zur Visualisierung von beispielsweise Umweltveränderungen eingesetzt. Zudem werden die meisten Informationen im schulischen Alltag, ganz unabhängig vom Lerntyp, über das Auge wahrgenommen (Mangold, 2007) und sollten aufgrund dessen auch schülergerecht dargeboten und didaktisch angeleitet werden.

Aber die Menge und Komplexität der zur Verfügung stehenden Umweltreize übertreffen bei weitem die Kapazität des menschlichen Wahrnehmungsapparates. Denn nur in dem kleinen Netzhautareal, der Fovea centralis, ist der Bereich des schärfsten Sehens. Periphere Objekte

werden nur schemenhaft abgebildet (Eysel, 2007). Somit kommt es quasi zum Wettstreit der verschiedenen Umweltreize, um die Gunst der visuellen Aufmerksamkeit bei begrenzten Verarbeitungsressourcen. In diesem Wettstreit spielen nach Knudsen (2007) einerseits die Eigenschaften der Umweltreize, aber auch die kognitiven Faktoren des Betrachters eine Rolle für die Reizverarbeitung.

Der Umweltreiz mit der höchsten Signalstärke gewinnt schließlich den Kampf um die Aufmerksamkeit und es kommt zur Aufmerksamkeitsverlagerung mit einhergehenden Blickbewegungen (Itti & Koch, 2001). Daher werden Blickbewegungen als Komponente der volitionalen (willentlichen) Aufmerksamkeitskontrolle verstanden (Knudsen, 2007). Letztendlich sind Blickbewegungen ein Anzeiger der Aufmerksamkeit und des aktuellen Interesses einer Person an einem Objekt oder Region und geben einen Hinweis darauf, was den Betrachter interessiert und worauf er gerade seine Aufmerksamkeit lenkt.

Um die Beschränktheit des Arbeitsgedächtnisses zu entschärfen, nutzt der Organismus die Umwelt als externen Speicher und greift nur dann auf die Information zurück, wenn er sie gerade benötigt. Das Abtasten der visuellen Umgebung erfolgt parallel zum Durchsuchen der mentalen Modelle im Arbeitsgedächtnis. Daraus folgt der Schluss, dass man aus Blickmustern auf die zur Lösung einer Aufgabe benötigten Informationen schließen kann (Funke & Spering, 2006). Es gelten für die Deutung der Blickbewegungen nach wie vor die von Just und Carpenter (1980) geäußerten Annahmen: a) Es wird das Objekt fixiert, das auch gerade verarbeitet wird („eye-mind assumption“), b) die Fixationsdauer entspricht der Dauer der zentralen Verarbeitung („immediacy assumption“) (Just & Carpenter, 1980).

In früheren Studien anderer Fachgebiete zeigte sich ein Unterschied in den Blickbewegungen zwischen Experten und Novizen, die den Rückschluss auf die Erfahrung des Betrachters erlauben. Denn Experten identifizieren schneller die für die Lösung relevanten Elemente und brauchen ebenso weniger Zeit für die Wahrnehmung relevanter Informationen (Funke & Spering, 2006). Weiterhin fixierten Novizen häufiger und länger irrelevante Bildelemente und beachteten die bedeutsamen wenig oder gar nicht (Nodine, Locher & Krupinski 1993, Rosenberg, 2005).

Aus den theoretischen Vorüberlegungen kristallieren sich folgende Forschungsfragen heraus, um den Unterschied im „Lesen“ von Satellitenbildern bei Experten und Schülern zu analysieren und daraus didaktische Ableitungen für den Einsatz von Satellitenbildern im Geographieunterricht treffen zu können.

I Selektionsstrategien von Schülern und Experten beim Lesen von Satellitenbildern: Was wird am längsten und häufigsten fixiert?

Wie verteilt sich die visuelle Aufmerksamkeit der Probanden über die verschiedenen Satellitenbilder?

Welche Bereiche und Bildelemente einer Satellitenbildszene werden bei Experten und Schülern am längsten fixiert?

II Grad der Aufmerksamkeit: Wie lange wird etwas betrachtet?

Unterscheidet sich die mittlere Fixationsdauer von Experten und Schülern?

Wie lange ist die mittlere Fixationsdauer zu unterschiedlichen Zeitpunkten?

Unterscheidet sich die Verweildauer innerhalb der Area of Interest (AOI) von Experten und Schülern?

III Erschließungsstrategien: Wie erschließt der Betrachter sich das Bild?

Lassen sich Indikatoren für eine Top-Down oder Bottom-up Verarbeitungsstrategie finden?

Stellen die Probanden Beziehungen zwischen Bildelementen her?

IV Qualität der Bildrezeption: Wie ist das Verhältnis von Suchverhalten zu detaillierter Inspektion?

Wie hoch sind die Anteile für das Suchen und für die detaillierte Inspektion des Satellitenbildes?

5 Methodische Grundlagen der Eye Tracking-Studie

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, anhand der Blickbewegungen von Experten und Schülern das Blickverhalten beim Lesen von Satellitenbildern zu analysieren. Da die Satellitenbilder ein hohes didaktisches Potenzial besitzen und weitere lernfördernde Eigenschaften, wie der Erregung einer hohen Lernmotivation beim Schüler erzeugen, bedarf es das immer noch neue Medium und seinen Einsatz genauer zu untersuchen. Außerdem erlangten Satellitenbilder in den letzten Jahren eine immer größere Beliebtheit bei Schülern sowie Lehrern und werden häufiger zur Visualisierung von beispielsweise Umweltveränderungen eingesetzt. Zudem werden die meisten Informationen im schulischen Alltag, ganz unabhängig vom Lerntyp, über das Auge wahrgenommen (Mangold 2007) und sollten aufgrund dessen auch schülergerecht dargeboten und didaktisch angeleitet werden. Bisher gibt es keine Forschung mittels Eye Tracking Verfahren beim Lesen von Satellitenbildern, so dass diese Arbeit als Grundlage und erste Bestandserhebung anzusehen ist, an die weitere Forschungsarbeiten anknüpfen können (bzw. sollten).

5.1 Theoretische Vorüberlegungen und Forschungsdesign

Das zugrunde gelegte Forschungsdesign ist das deskriptive Survey-Modell, eine Querschnittserhebung nicht-experimenteller Daten. Darunter ist die Analyse empirischer Informationen zur Beschreibung und Diagnose eines interessierenden Sachverhaltes zu einem Zeitpunkt zu verstehen (Döring & Bortz, 2016; Kromrey, 2009). Die Wahl fiel auf dieses Design, weil ein noch unerforschter Sachverhalt vorliegt und bisher keine Vorstudien existieren, auf deren Grundlage Hypothesen erstellt und geprüft werden können. Bei der empirisch-quantitativen Explorationsstrategie wird der quantitative Datensatz genutzt, um daraus neue Hypothesen zu generieren (Bortz & Döring, 2006).

Deskriptive Surveystudien erfordern die umfassendsten methodischen Überlegungen zur Gestaltung des Forschungsdesigns. Sie verlangen zunächst die Präzisierung der Fragestellung, dann die Entwicklung eines untersuchungsleitenden (Rötting, 2001) und theoriebasierten Gegenstandmodells und schließlich eine Auswertungsplanung (Kromrey, 2009). Diese Art von Studien soll nicht nur rein deskriptiv den Untersuchungsgegenstand beschreiben, sondern zugleich relevant für weitere theoretische Überlegungen sein (Kromrey, 2009).

Zur Auswertung werden eigene Daten mittels der Forschungsmethode des Eye Tracking erhoben. Durch diese besondere Aufbereitung und Darstellung quantitativer Daten können

bislang unbeachtete und unentdeckte Muster in Messwerten sichtbar gemacht werden (Bortz & Döring, 2006).

Auf Basis der Surveystudie und ausgehend von den breit angelegten Forschungsfragen wurde ein Forschungsdesign generiert, das in sieben (Rötting, 2001) Teilbereiche untergliedert werden kann.

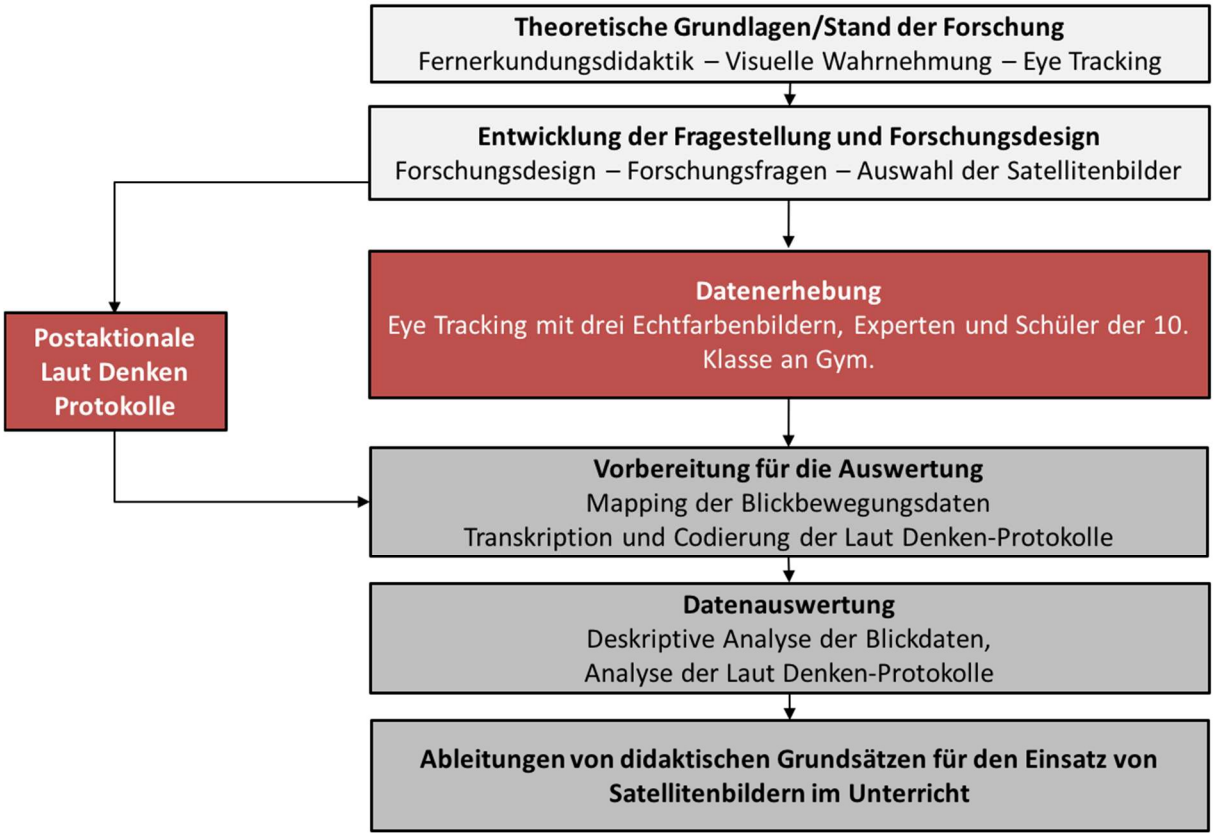


Abbildung 8: Struktogramm des Forschungsdesigns der Blickbewegungsstudie mit Experten und Schülern (Eigener Entwurf)

Zu Beginn der Studie stand die Sichtung der vorhandenen Studien und Grundlagenliteratur zu den großen Themengebieten der Fernerkundungsdidaktik, der visuellen Wahrnehmung und der Blickbewegungsforschung an. Diese bilden den theoretischen Unterbau für die Formulierung der Forschungsfragen, die bei einem deskriptiven Survey-Modell zwar nicht im Detail beantwortet werden, aber leitend für die Studie sind. Weitere Überlegungen zur Wahl der Satellitenbilder, Entwicklung eines Fragebogens, zur Erfassung soziodemografischer Daten und Akquise der Probanden wurden zu diesem Zeitpunkt angestellt.

Die Gruppe der wenig geübten Satellitenbildleser setzt sich aus Schülern der 10. Jahrgangsstufe, die ein Gymnasium in Baden-Württemberg besuchen, zusammen. Nach der internationalen Fragebogenstudie von Siegmund befindet sich der „kompetente Satellitenbild-Nutzer-Typ“ (Siegmund, 2011, S. 120) in Deutschland häufig in den höheren Klassen der gymnasialen Mittelstufe, kann geschlechtlich nicht definiert werden, zeichnet

sich aber durch eine positive Haltung gegenüber der Schule aus. Noch dazu findet diese Studie auf freiwilliger Basis statt, so dass wahrscheinlich eher die Schüler mit positiver Grundhaltung gegenüber der Schule und schulischen Leistungen teilnehmen als die weniger motivierten Schüler. Die Gruppe der Experten besteht aus Dozenten und Wissenschaftlichen Mitarbeitern der Abteilung Geographie an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg. Sie zeichnen sich durch ein abgeschlossenes Studium der Geographie für das Lehramt oder durch einen Masterabschluss, bzw. Diplomprüfung aus. Obendrein arbeiten sie in den verschiedensten Projekten zum Thema Fernerkundung und haben sowohl durch ihre Dozententätigkeit, Promotionsvorhaben oder durch ihre Projekte häufig mit Satellitenbildern zu tun.

Nachdem alle theoretischen Vorüberlegungen abgeschlossen waren, wurde die Hauptuntersuchung durchgeführt. Sie fand in der jeweiligen Schule (Schüler) und der Pädagogischen Hochschule Heidelberg (Experten) in einem dafür reservierten Raum statt. Die Schüler wurden durch die Klassenlehrer informiert und die Eltern über ein Informationsschreiben in Kenntnis gesetzt. Deren Einwilligung zur Teilnahme der Studie wurde schriftlich abgefragt und liegt für alle teilnehmenden Schüler vor. Bei beiden Gruppen wurde der in Tab. 1 erläuterter Untersuchungsablauf eingehalten.

Tabelle 1: Ablauf der Blickbewegungsstudie und Arbeitsanweisungen (Eigener Entwurf)

Zeit	Ablauf	Arbeitsanweisung
3 min	Begrüßung des Teilnehmers (TN) durch die Studienleiterin	
2 min	TN füllt den Fragebogen mit Angaben zu soziodemografischen Daten aus und führt den Test auf Rot-Grün-Blindheit durch.	
5 min	Kalibrierung der Eye Glasses mit dem Präsentationsbildschirm durch eine Dreipunktkalibrierung.	
8 min	Darbietung von vier Echtfarben-Satellitenbildern (je 1 min), Aufnahme der Blickbewegungen während der Betrachtung.	„Bitte schauen Sie sich das folgende Satellitenbild eine Minute lang genau an, so dass Sie anschließend eine Bildunterschrift formulieren können.“ (Experte) „Bitte schaue dir das folgende Satellitenbild eine Minute lang genau an, so dass du anschließend eine Bildunterschrift formulieren

		kannst.“ (Schüler)
	Eye Glasses werden abgesetzt	
8 min	TN schaut sich postaktional die eigenen Blickbewegungen an und äußert seine Gedanken dazu. Die Äußerungen werden aufgenommen.	„Sie sehen gleich ihre Blickbewegungen. Geben Sie bitte an, was sie sich in dem Moment gedacht haben, was ihnen unklar war oder welche Elemente sie erkannt haben.“ (Experte) „Du siehst gleich deine Blickbewegungen. Gib an, was du dir in dem Moment gedacht hast, was dir unklar war oder welche Elemente du erkannt hast.“ (Schüler)
	Verabschiedung des TN	
∑= 26 min		

Probanden mit einer Rot-Grün Sehschwäche wurden von der Messung ausgeschlossen.

Nach Abschluss der Hauptuntersuchung müssen die Daten für die Auswertung vorbereitet werden. In diesem Fall werden die Blickbewegungen mit einem aufwändigen Mapping-verfahren auf je ein Referenzbild übertragen. Erst danach besteht die Möglichkeit der Gruppenvergleiche durch die deskriptive und visuelle Datenanalyse, wie beispielsweise die Bildung von Areas of Interests. Ausgehend davon werden die Forschungsfragen überprüft, auf deren Grundlage im letzten Teil didaktische Ableitungen zum Einsatz von Satellitenbildern in der Schule getroffen werden.

Abbildung 9: Probandin während der Betrachtung eines Satellitenbildes mit den Eye Glasses (Eigener Entwurf)

5.1.1 Der Fragebogen zur Erfassung soziodemografischer Daten

Sowohl die Gruppe der Schüler als auch die Experten füllt zu Beginn der Untersuchung einen Fragebogen aus, der neben den soziodemografischen Angaben, die Häufigkeit im Umgang mit Satellitenbildern im privaten wie schulischen, bzw. betrieblichen Kontext abfragt. Bei den Experten wird noch die Ausbildung im Bereich der Fernerkundung erfasst.

Zudem wird der Proband mithilfe der Ishihara-Farbtafel auf eine Rot-Grün-Sehschwäche hin überprüft (vgl. Abb. 10). Die relativ häufig vorkommende Sehschwäche, vor allem bei Männern durch die x-chromosomale Vererbung bestimmt, beeinflusst die Bildinterpretation wesentlich (Wissinger & Kohl, 2005). Rote und grüne Farbflächen können nur schwer oder gar nicht voneinander unterschieden werden. Die Interpretation der Farbe ist beim Lesen von Satellitenbildern allerdings entscheidend.

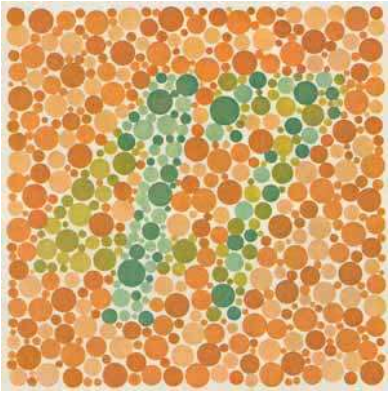


Abbildung 10: Die Ishihara-Farbtafel zur Überprüfung einer möglichen Rot-Grün-Sehschwäche (Wikipedia, 2004)

Trotz einiger Einschränkungen im Alltag und dem Vorbehalt bei der Berufswahl – z. B. bei Piloten, bei Lokomotivführer u.a., spricht man nicht von einer Erkrankung, weil die Sehschärfe nicht vermindert ist (Wissinger & Kohl, 2005).

5.1.2 Die Messung von Blickbewegungen

Die bemerkenswerte Geschichte der Blickbewegungsforschung spiegelt sich durch Literaturquellen am Ende des 18 Jh. wider. Ab diesem Zeitpunkt gab es drei bedeutende Phasen der Blickbewegungsforschung. Die Untersuchungen zu Beginn des 19. Jh. belegten grundlegende Fakten der Blickbewegungen, wie der sakkadischen Supression als eine Unterdrückung der Wahrnehmung während einer Sakkade, die Größe der Wahrnehmungsspanne und der Latenz von Sakkaden erforscht und belegt (Rayner, 1998). Die zweite große Phase fand zeitgleich zum Behaviorismus statt und hat zur Folge das damalige Untersuchungen einen starken experimentellen Charakter hatten, um letztendlich Rückschlüsse von Blickbewegungen auf kognitive Prozesse ziehen zu können. Nachdem die Blickbewegungsforschung zwischen den 1950ern und 1970ern wenig Bedeutendes zum Vorschein brachte, ermöglichte eine maßgebliche Verbesserung der Technik eine Steigerung der Messgenauigkeit sowie eine bessere Handhabung der Geräte (Rayner, 1998).

Die Aufnahme von Blickbewegungen hat sich in der kognitiven Psychologie und Psychophysiologie bereits etabliert und gilt als Standardverfahren für die Untersuchung von psychischen Leistungen. Das Verfahren wird vor allem in der Leseforschung eingesetzt und entfaltet dort sein weites Spektrum der Analysemöglichkeiten (Rayner, 1998). Sofern die Problemstellung gut formuliert und der Untersuchungsgegenstand operationalisiert ist, lässt sich nach Funke & Spering die Methode der Blickaufzeichnung auch in der kognitiven Psychologie, bzw. in der Denk- und Problemlöseforschung einsetzen (Funke & Spering, 2006). In der deutschsprachigen Geographiedidaktik wird die Methode des Eye Tracking allerdings nur vereinzelt angewandt. Es gibt erste Projekte im Gebiet der Schulbuchrezeption und der Lehr-Lern-Prozesse (Conrad & Obermaier, 2015).

Die Methode des Eye Tracking wird in dieser Studie als Indikator der Allokation von Wahrnehmung seitens des Probanden verwendet. Geben die Augenbewegungen doch Auskunft über:

a) die Selektionsstrategien der Probanden – Was wird gesehen?
b) den Grad der Aufmerksamkeit und Interesse hinsichtlich einzelner Elemente des Stimulus – Wie lange wird etwas betrachtet?
c) Rezeptionssequenzen und damit gleichzeitig über Erschließungsstrategien – Welche Elemente werden in welcher Reihenfolge betrachtet?
d) Die Qualität der Rezeption – Wird ein Bild gescannt oder „gelesen“?

Ein klarer Vorteil der Methode des Eye Tracking ist, dass „harte Daten“ gewonnen werden, welche Rückschlüsse auf die kognitiven Vorgänge bei der Versuchsperson zulassen. Effekte wie bspw. soziale Erwünschtheit oder der Versuchsleitereffekt, die bei Befragungen oder Fragebögen auftreten können, werden mit der Aufzeichnung der Blickbewegungen minimiert bzw. ausgeschlossen. Des Weiteren kann ermittelt werden, ob eine Person ein Bild

eingehend betrachtet oder nur abscannt und wohin genau sich der Aufmerksamkeitsfokus richtet.

Es gibt eine ganze Reihe, wie die Blickbewegungen aufgezeichnet werden können. Bei dieser Studie handelt es sich um die besonders gängige Cornea-Reflex-Methode (CRM). Das System nutzt die Fähigkeit der Cornea, Licht reflektieren zu können und arbeitet auf der Basis der Blickpunkt- bzw. Blickachsenmessung. Das Auge wird mit Infrarotlicht beleuchtet und mit einer Videokamera, die durch einen eingebauten Filter die Infrarotreflektionen von der übrigen Strahlung filtern kann, ein Videobild des Auges aufgezeichnet. Das Videobild des Auges wird mit einer Abtastrate von 60 Hz (25 Bildern die Sekunde) analysiert. Um diese Daten mit den Blickpunkten auf der dargestellten Satellitenbildszene überein zu bringen, findet zu Beginn eine Kalibrierung an drei Punkten statt. Die Augenposition ergibt sich aus dem Lageunterschied zwischen der Pupillenmitte und dem Lichtreflex (Cornea reflex), den das Infrarotlicht erzeugt. Die Blickaufzeichnungen dieser Studie wurden mit den mobilen „Eye Glasses" der Firma Senso Motoric Instruments (SMI) durchgeführt. Das ist ein nichtinvasives Trackingsystem.

Zu den Vorteilen der Eye Glasses, eine mobile Variante zu den sonst stationären Eye Trackern, zählt die hohe Bewegungsfreiheit für den Probanden. Durch die einfache Handhabung gibt es daher nur wenige Ausfälle. Allerdings ist sich der Proband durch Tragen der Eye Glasses ständig der Messsituation bewusst und es kommt zu einem Labor- oder Hawthorne-Effekt (Bortz & Döring, 2006). Durch ein Warm-up mit einem Testbild, das nicht Teil der Auswertung ist, wurde versucht den Probanden an die Situation zu gewöhnen. Ein weiterer Nachteil ist, dass gewisse Nutzergruppen nicht untersucht werden können, da Brillenträger, sofern sie keine Kontaktlinsen tragen, ausgeschlossen werden müssen.

5.1.3 Die Methode des Lauten Denkens

Klassische Befragungsmethoden eignen sich bei Eye Tracking Studien nur bedingt, da sie erst mit zeitlichem Abstand durchgeführt werden und wenig zur Klärung der kognitiven Abläufe bei Rezeptionsstudien beitragen können. Die Methode des Lauten Denkens ist zwischen den Befragungs- und Beobachtungsverfahren einzuordnen und dient vor allen der Erfassung kognitiver Prozesse (Hussy, Schreier, & Echterhoff, 2010; Sandmann, 2014).

Je nach Zeitpunkt der Erfassung wird zwischen dem periaktionalen und postaktionalen Lauten Denken „unterschieden (Hussy, Schreier, & Echterhoff, 2010). Andere Autoren verwenden die Synonyme „Concurrent Think Aloud" und „Retrospective Think Aloud" (Häder, 2010).

Bei der periaktionalen Variante werden die Probanden während der Aufgabenbearbeitung aufgefordert, ihre Gedanken zu verbalisieren. Dieses Vorgehen stellt hohe Anforderungen an die Person und bindet kognitive Ressourcen, die zur Bearbeitung der Aufgabe benötigt werden. Weiterhin wirkt sich die parallele Verarbeitung auf das Blickverhalten der Probanden aus (Schumacher, 2012). Aus Gründen der Validität wird bei dieser Studie das postaktionale Laute Denken gewählt und dadurch der Einfluss auf das Blickverhalten vermieden (Schumacher, 2012). Die Auswertung erfolgt auf Basis von Protokollen der sprachlichen Handlungen. Dazu werden sie zunächst codiert. Bei dieser Studie wurde theoriegeleitet vorgegangen und sich an den typischen Analyseschritten beim Lesen von Satellitenbildern orientiert.

Die einhergehende Gefahr, dass sich die Probanden weniger gut an ihre Gedanken erinnern und versucht sind die Antwort zu begründen, statt nur deskriptiv vorzugehen, wird weniger stark gewichtet. Denn der Proband sieht während der Verbalisierung seinen eigenen Blickverlauf. Trotz der Reduzierung potenzieller Probleme ist die Methode des Lauten Denkens letztendlich abhängig von der Verbalisierungskompetenz des Probanden (Sandmann, 2014).

Die Tatsache, dass lautes Denken nicht gängig für die Probanden ist und der Einfluss der Verbalisierungskompetenz besteht, hat dazu geführt, die Methode in dieser Studie nicht lehrbuchartig einzusetzen. In einigen Fällen sind Befragungssituationen entstanden.

Die hohe Übereinstimmung von Laut Denken-Protokollen und Blickbewegungsdaten zeigt sich zwischen den aus verbalen Auskünften gewonnenen Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Probanden und den Fixationsorten, bzw. – dauer (Funke & Spering, 2006). Die Rückschlüsse vom Fixationsort und dem Gegenstand der Informationsverarbeitung, über den der Proband verbal Auskunft geben kann, sind also zulässig (Funke & Spering, 2006).

5.2 Aufgabenstellung und Auswahl der Satellitenbilder der Eye Tracking-Studie

Eye Tracking Daten sind sehr sensitiv gegenüber der Aufgabenstellung im Treatment (Yarbus, 1967, Holmquist, 2011), da Blickbewegungen eine Kombination aus Bottom-up und Top-down Verarbeitungsstrategien sind. Die Aufgabe ist somit maßgebend für den Verarbeitungsweg (Duchowski, 2007). Aufgrund dessen wurden die Aufgaben und Instruktionen neutral formuliert, sollen aber dennoch den Probanden ermutigen sich das Bild zielgeleitet anzuschauen sowie einen anspornenden Charakter haben, damit sich möglichst nicht ein Effekt des reinen „just looking at the images“ (Holmquist, 2011, S. 78)

einstellt. Die Bilder und Fragestellungen wurden so ausgewählt, dass sie für den Probanden einen Sinn ergeben (Holmquist, 2011). Diese drei Kriterien orientieren sich an den Empfehlungen von Holmquist zum methodischen Aufbau von Eye Tracking Studien (Holmquist, 2011).

In der Untersuchung wurden die Probanden aufgefordert eine Bildunterschrift für die jeweiligen Szenen zu finden. Damit wurde bezweckt, dass sie sich das komplette Bild anschauen müssen, um die Bildaussage zu erfassen ohne den Fokus vorab auf spezielle Elemente (z. B. Tagebaue, Wälder etc.) zu lenken. Die Aufgabenstellung wurde in die Präsentation eingeflochten und dem Probanden schriftlich dargeboten. Dadurch ist keine Variation durch den Testleiter eingeflossen. Schriftliche Anweisungen minimieren viele Störeffekte, die durch sprachliche Varianten und Tonlagen der Testleitung das Verhalten des Probanden beeinflussen (Holmquist, 2011). Jede Satellitenbildszene wurde genau 60 Sekunden angezeigt. Die automatische Steuerung der Betrachtungszeit erfolgte über die PowerPoint-Präsentation. Zum Lesen der Aufgabenstellung gab es so viel Zeit wie benötigt wurde.

Der Stimulus Bild wird in der Literatur in zwei Gruppen, den natürlichen und künstlichen Bildern, unterteilt (Holmquist, 2011). Echtfarbenbilder entsprechen der Gruppe der natürlichen Szenen, da weder die Objekte noch deren Farbgebung verändert wurden.

Die Wahl fiel auf Echtfarbensatellitenbilder, weil im Gegensatz zu Falschfarbenbildern weniger Vorkenntnisse benötigt werden. Bei Falschfarbenbildern müssen zwangsläufig tiefere Kenntnisse aus dem Bereich der Fernerkundung einfließen, um Bildaussagen treffen zu können. Weiterhin wurde bei der Auswahl der Bilder darauf geachtet, dass jedes Bild eine hohe Aussagekraft besitzt, indem es bspw. eine Umweltveränderung zeigt oder große informationstragende Elemente (z. B. Tagebau, landwirtschaftliche Nutzflächen) beinhaltet. Die Lokalisation der Fixationen wird dadurch sehr vereinfacht. Die Themen der Bilder lehnen sich an den Bildungsplan von Baden-Württemberg für die 10. Klassenstufe an. Die Themen sind somit für die Schülergruppe altersentsprechend und sollten sie nicht überfordern.

5.2.1 Satellitenbild I: Waldbrand in Griechenland

Dieses Satellitenbild zeigt sehr gut die Dimension eines Waldbrandes, der in der Nähe von Athen im Sommer 2007 ausbrach. Die Szene stammt von einem SPOT 5 Satelliten mit einer Auflösung von 2,5 m und wurde am 1. Juli 2007 aufgenommen. Diese und die nachfolgenden Satellitenbilder sind in Echtfarben abgebildet, also vergleichbar zu dem wie man die Erdoberfläche sonst auch sehen würde.

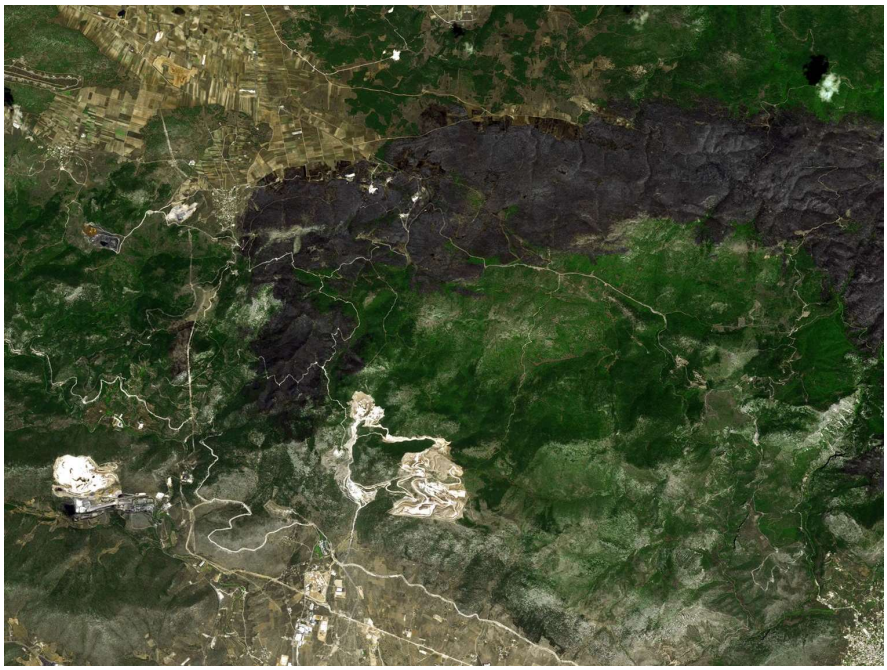


Abbildung 11: Die Satellitenbildszene vom 1. Juli 2007 zeigt die Dimension eines Waldbrandes in der Nähe von Athen (Airbus defence and space, 2017)

Der Waldbrand war ein verheerendes Ereignis für den südosteuropäischen Staat. Hohe Temperaturen und starker Wind fachten das von Brandstiftern gelegte Feuer immer wieder an. Die Dimension des Waldbrandes kann man auf dieser Szene im Vergleich zu den beiden Tagebauen und den beiden Siedlungen in der unteren und oberen Bildhälfte abschätzen. Weiter sieht man auf diesem Bild intakte Waldgebiete und einige Erhebungen. Das Bild dient der Gewöhnung an die Testsituation und wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

5.2.2 Satellitenbild II: Abholzungen in Malaysia

Satellitenbildaufnahmen sind oft dann im Einsatz, wenn es um das Monitoring von Umweltveränderungen geht. Die vom Satelliten IKONOS am 18. Juni 2002 aufgenommene Szene zeigt eine Bestandsaufnahme der malaiischen Waldgebiete. Malaysia ist ein Staat in Südostasien mit einem Landesteil auf der malaiischen Halbinsel und einem weiteren auf der Insel Borneo. Die gezeigte Satellitenbildszene stammt von der Insel Borneo.

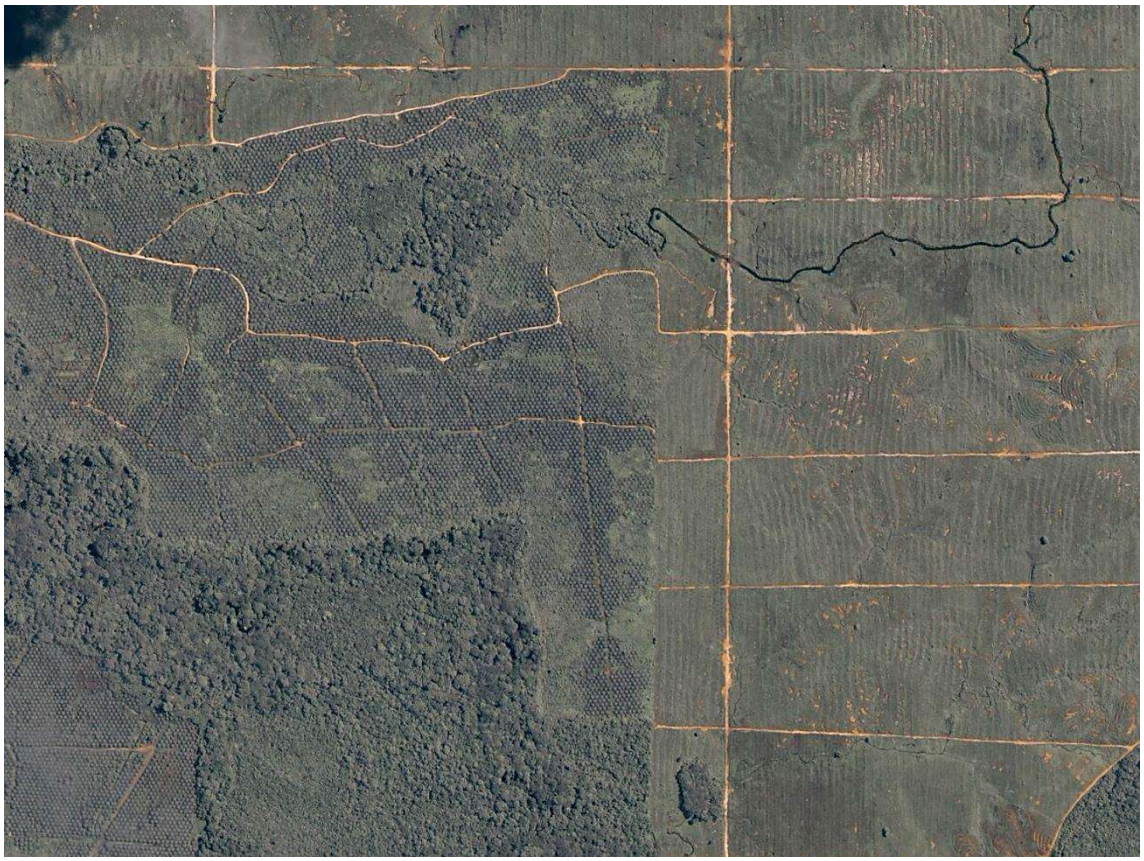


Abbildung 12: Satellitenbildszene mit Ölpalmplantage und natürlicher Vegetation in Malaysia/Borneo, aufgenommen mit IKONOS am 18.Juni 2002 (NASA - Earth Observatory, 2009)

Zu den aktuell stärksten Umweltproblemen zählen in Malaysia die Luftverschmutzung durch Industrie und Verkehr, die Wasserverschmutzung durch Abwässer und als drittes die Entwaldung (United States Central Intelligence Agency, 2014). Die anhaltende Abholzung der Wälder bestätigt eine Studie von Hansen et al., die aus global vorhandenen Satellitendaten mit einer Auflösung von 30 m den Waldbestand von 2000 bis 2012 auswerteten (Hansen et al., 2013). Während über diesen Zeitraum die Entwaldung Brasiliens zurückging, nahm sie in Ländern wie Malaysia, Indonesien, Paraguay und weiteren enorm zu. Insgesamt sind weltweit 2,3 Millionen km² Wald zugunsten anderer Nutzungsformen gerodet worden und nur 800 000 km² aufgeforstet.

Wald, gerodetes Land, Plantagen und von Zufahrtswegen durchzogener Raum sind die augenscheinlichen Elemente der Satellitenbildszene. Insgesamt ist die Szene sehr klar durch die parallel verlaufenden Straßen auf der rechten Bildhälfte strukturiert. Ein Fluss mäandriert durch den oberen Teil der Szene. Im Gegensatz zu den geordneten Plantagen gibt es in der linken Bildhälfte natürlichen Wald, der ein Kontrast zum anthropogenen Landnutzungswandel darstellt.

5.2.3 Satellitenbild III: Der Aralsee

Der Aralsee liegt im Tiefland von Turan in Zentralasien und gehört zu Kasachstan sowie Usbekistan. Aufgrund des kontinentalen Klimas herrschen wüstenklimatische Bedingungen. Der Bildvergleich der MODIS-Aufnahmen von 2002 und 2008 zeigt deutlich das Ausmaß der Verlandung des Aralsees. In den 1960er Jahren begann die Abnahme der Seefläche, des bis dahin viertgrößten See der Welt mit einer Fläche von 66.000 km² (Aladin et al., 2005). Der Grund dafür ist die künstliche Bewässerung des Baumwollanbaus in Usbekistan und Kasachstan und die dadurch verbundene Entnahme großer Wassermengen aus den einzigen Zuflüssen des Sees, Amudar'ya und Syrdar'ya. Zudem geht sowieso klimatisch bedingt eine große Menge Wasser durch Verdunstung und Versickerung verloren. Das Gleichgewicht kam durch die übermäßige Entnahme für die künstliche Bewässerung ins Schwanken. Der Wasserspiegel sank kontinuierlich, der Salzgehalt nahm enorm zu. Dies hatte ein großes Fischsterben zufolge (Aladin et al., 2005).

Um den nördlichen Teil des Aralsees zu retten, baute man den Kokaral-Staudamm, der 2005 fertiggestellt wurde. Dadurch nahm das Volumen am nördlichen Aralsee wieder zu und auch die Fischbestände erholten sich. Die Zunahme erkennt man im Vergleich der Satellitenbilder aus den Jahren 2002 und 2008.

Abbildung 13: Der Rückgang des Aralsee im Bildvergleich zwischen den Jahren 2002 (links) und 2008 (rechts) (NASA-Visible Earth, 2017a; NASA-Visible Earth, 2017)

5.2.4 Satellitenbild IV: Das Grenzgebiet zwischen China und Kasachstan

Grüne Felder und eine Siedlung auf der einen und karge Landschaft auf der anderen Seite, dazwischen eine klar gezogene Grenze sind die Hauptelemente der Satellitenbildszene. Eine so deutliche Linie auf relativ kleinem Raum kann nicht durch unterschiedliche Klimazonen entstehen, sondern muss eine politische Grenze sein.

Die folgende Szene des Satelliten Landsat 8, aufgenommen am 9. September 2013, zeigt sehr eindrücklich die Staatsgrenze zwischen China und Kasachstan (NASA-Visible Earth, 2015). Kasachstan, Zentralasien zugehörend, ist ein Binnenstaat zwischen dem Kaspischen Meer im Westen und dem Altaigebirge im Osten. Das neuntgrößte Land der Erde grenzt mit einer Länge von 1.765 km im Südosten an China (United States Central Intelligence Agency, 2014).

Abbildung 14: Satellitenbildszene der Grenzregionen von China und Kasachstan, die sich hinsichtlich der Bervölkerungsdichte stark unterscheiden, aufgenommen vom Satelliten Landsat 8 am 9. September 2013 (NASA-Visible Earth, 2015)

Der rechte, indem Fall der östliche Teil der Szene, zeigt die intensive Landwirtschaft Chinas um die Stadt Qoqek. Der starke Bevölkerungsdruck verlangt eine intensive Bewirtschaftung aller zur Verfügung stehender Flächen. Etwa 54 % der Landfläche wird landwirtschaftlich genutzt, aber nur 11,3 % davon ist kultivierbar. Der Rest steht als Weideland u.a. zur Verfügung. Die dunkel- und hellgrünen Flächen in der sonst kargen Landschaft geben

Hinweis auf eine Bewässerungswirtschaft. Und in der Tat wird 65 % des gesamten Trinkwasserverbrauchs für die Bewässerung der Felder genutzt (United States Central Intelligence Agency, 2014).

Im Kontrast dazu steht Kasachstan auf der linken, und in diesem Fall auch westlichen, Bildseite. Kasachstan ist ein Land, das durch große industrielle Betriebe geprägt ist, die wiederum ein Relikt der Sowjetunion sind. Die Landwirtschaft spielt dennoch eine wichtige Rolle, allerdings nicht an der östlichen Grenze zu China. Der Bevölkerungsdruck ist wesentlich kleiner als beim Nachbarstaat und deshalb werden die klimatisch günstigeren Räume bevorzugt. Meist werden die Felder in der gezeigten Gegend nur durch Niederschläge bewässert, so dass sie der umliegenden natürlichen Vegetation ähneln.

5.3 Auswertung der Eye Tracking Daten

Die Standardabweichung und die Varianz sind die gängigsten statistischen Wege, um die Variabilität der Blickbewegungsdaten zu zeigen. Sie klären die Frage: Wie groß ist die Varianz der beiden Gruppen um den Mittelwert ist?

Die Standardabweichung zeigt die Spannweite der Fixationen um den Mittelwert an. Um die Varianz von zwei Gruppen zu testen, wird der Levene´s Test angewandt. Dieser prüft die Gleichheit der Varianzen von zwei oder mehreren Grundgesamtheiten.

Außer dem rein mathematisch statistischen Weg bietet die Auswertungssoftware (BeGaze 3.5) die Möglichkeit der qualitativen Betrachtung der Blickbewegungsaufzeichnungen. Im Folgenden werden weitere qualitative als auch quantitative Methoden, die bei der Auswertung der Eye Tracking Daten zum Einsatz kamen, vorgestellt.

5.3.1. Heat maps

Heat maps präsentieren Blickdaten und deren räumlichen Verteilung auf dem Stimulus. Die Aussagekraft liegt in der Lokalisierung der Aufmerksamkeit einer Szene, allerdings ohne einen semantischen Bezug herstellen zu können. Die Darstellung erfolgt auf Berechnung der Fixationsdauer oder der Verweildauer sowie der Eingangszeit (Duchowski, 2007).

Bei Duchowski (2007) werden zwei Darstellungsformen der Attention maps beschrieben: als „Gridded AOI heat map“ (gerastert) oder die topological (Gaussian) landscape (topologisch). Bei der gerasterten Methode wird auf das Bild ein Raster gelegt, dessen Einzelzellen nach

Fixationsdauer, Verweildauer oder Eingangszeit berechnet werden. Die Mittelwerte sind je nach Einstellung von dunkelrot mit bspw. vielen Fixationen hin zu blau mit weniger Fixationen eingefärbt. Die Heat map hat gegenüber der Gridded AOI Heat map keine harten Grenzen, sondern fließende Übergänge. Die Berechnung erfolgt folgendermaßen.

Jede Fixation eines Probanden erzeugt einen spezifischen Wert, der die Intensität der Betrachtung proportional zur Fixationsdauer widerspiegelt. Jeder dieser Werte wird, entsprechend der Gaußschen Verteilungskurve, mit der Farbe Rot für eine hohe Intensität und Blau für eine geringe Intensität dargestellt (vgl. Abb. 15). Die Fixationsdauer bestimmt die Höhe und die Verbreitung die Standardabweichung der Verteilungskurve. Die Farbe eines jeden Bildpixels, respektive die gemittelte Intensität, ergibt sich aus der Summe der Intensitätswerte aller Probanden unter Berücksichtigung der Gaußschen Verteilungskurve für jeden Fixationswert.

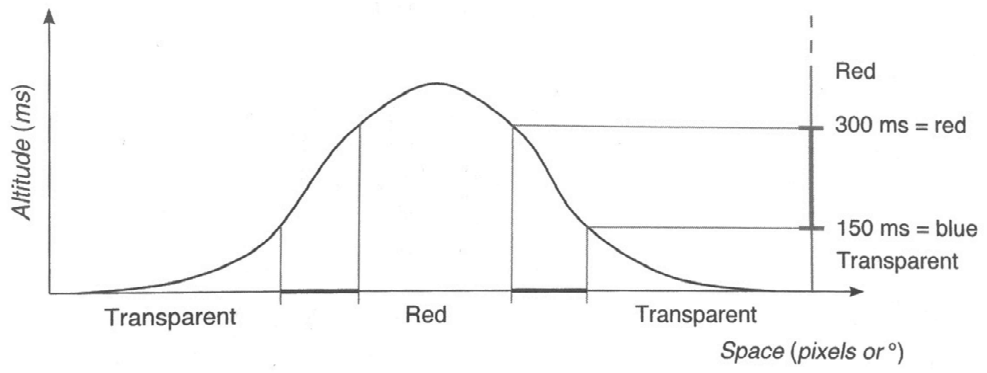


Abbildung 15: Die Gaußsche Verteilungskuve für einen Fixationswert mit 325 ms Fixationsdauer (Holmquist, 2011, S. 235)

Üblicherweise werden Regionen mit langen Fixationen dunkelrot und Regionen mit kurzen Fixationen blau eingefärbt. Die am längsten betrachteten Regionen werden durch die dunkelrote Einfärbung deutlich. Vor allem bei sehr vielen Probanden und damit großen Datensätzen ist die Attention map eine Methode der ersten Wahl vor anderen Visualisierungen, wie der Darstellung von Blickpfaden (Holmquist, 2011). Dennoch sind weitere Verfahren von Nöten, wenn die Effektstärke quantifiziert werden soll.

In den Einstellungen der Auswertungssoftware gibt es die Möglichkeit die Fixationsdauer, die Farbsättigung der Heat map und die Spannweite (in pixel) für jeden errechneten Bildpixel einzustellen. Wird ein niedriger Werte für die Spannweite eingestellt, wird der Bereich um die Fixation enger und die Hot spots der Fixationen kommen stärker heraus.

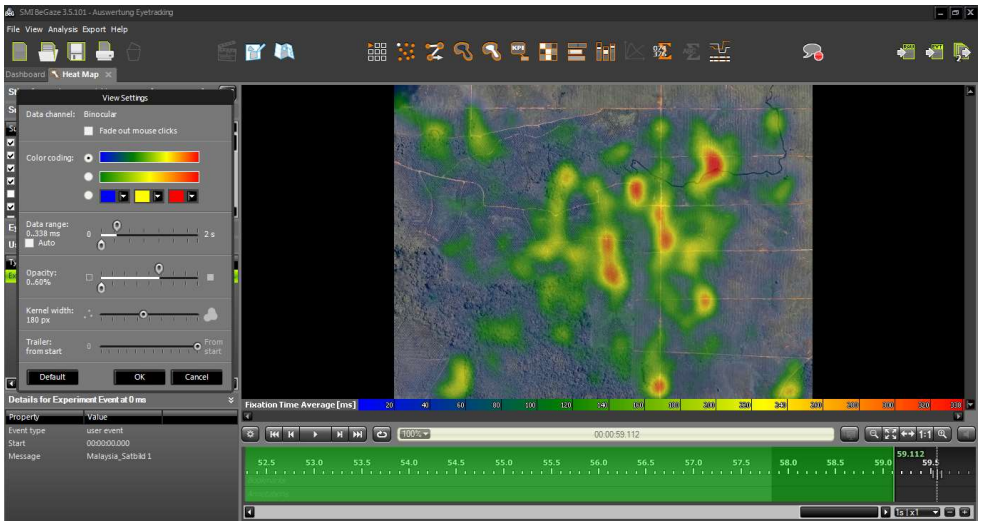


Abbildung 16: Einstellung für die Auswertung der Attention-map der Satellitenbilder Malaysia (Eigener Entwurf)

In Anlehnung an Wooding ist die Heat map „an opportunity to define objectively the principal regions of interest of observers when they view an image" (Wooding, 2002, S. 522). Im Folgenden Abschnitt werden die AOIs definiert und der Prozess der Generierung dieser auf der Grundlage von Attention maps beschrieben.

5.3.2 Area of Interest

Areas of interest (AOI) definieren Regionen auf dem Stimulus, respektive der Satellitenbildszene, die für die genauere Analyse hilfreich sind. Je nach Fragestellung ist entweder der Übergang von einer abgegrenzten Region in die andere interessant oder die Verweildauer innerhalb einer.

Die Verweilzeit ist definiert als ein Besuch innerhalb eines AOIs, vom Eintritt in den markierten Bereich bis zum Austritt. Dazwischen können mehrere Fixationen innerhalb des AOIs stattfinden. Die Verweildauer kann auch nur berechnet werden, sofern AOIs definiert wurden. Die Verweildauer ist ein Zeichen für Interesse am Bildelement oder höherem Informationsgehalt als bei anderen (Holmquist, 2011).

Nachteil der Generierung von AOIs auf Grundlage der Attention map ist, dass es keine semantische Kopplung gibt. Die AOI werden unabhängig von der semantischen Bedeutung gewählt. Die AOIs sind aber per se informationstragende Einheiten. Inwieweit der Widerspruch zum Tragen kommt, hängt von der jeweiligen Fragstellung ab. Wooding (2002) und andere geben keine Vorgaben wie eng die AOI gefasst sein müssen. Je nach Stimulus wird in der Literatur zwischen einer und mehreren Standardabweichungen vorgegangen (vgl.

Abb. 17). Sind die AOIs eingerichtet, ermöglicht die Messung eine Aussage über das Interesse der Probanden zu treffen (Holmquist, 2011).

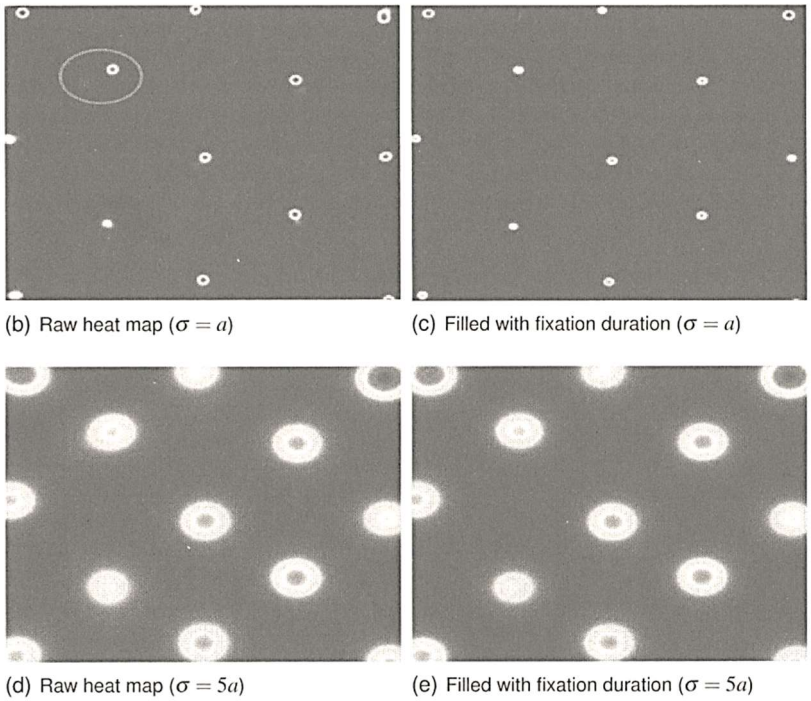


Abbildung 17: Abhängigkeit der Darstellung von den Standardabweichungen (Holmquist, 2011, S. 249)

Teil II

6 Ergebnisse der Eye Tracking-Studie

6.1 Soziodemografischer Hintergrund der Studienteilnehmer

Die Probandengruppe besteht aus der Gruppe der Experten und der Gruppe der Schüler. Die Expertengruppe umfasst insgesamt 19 Personen, aufgeteilt in zehn Frauen und neun Männer mit einem mittleren Alter von 34 Jahren. Ein Teil der Gruppe arbeitet in der Abteilung Geographie an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und ist entweder in Fernerkundungsprojekte oder der Lehre eingebunden. Die Teilnehmer haben ein Lehramtsstudium im Fach Geographie absolviert und Seminare zur Fernerkundung besucht oder ein fachwissenschaftliches Studium abgeschlossen. Das Portfolio der Expertengruppe ist in Tab.2 aufgelistet.

Tabelle 2: Freie Antworten der Experten zum Ausbildungsgrad im Bereich Fernerkundung (Eigener Entwurf)

Freie Antwort auf die Frage nach dem Ausbildungsgrad im Bereich der Fernerkundung
• Lehre & Forschung, Professur für Geographie und ihre Didaktik • Geographie B. Sc. & M. Sc. (Geoinformatik, Fernerkundung & GIS) • M. Sc. Geographie • Dipl.-Geograph, Projekte in GIS und Fernerkundung • Lehramt, Geographie im Hauptfach, inkl. Seminar Fernerkundung • Geographie M. Sc., Promotion in Geographie/Fernerkundung • Dipl.-Geographin, Promotion, Projekte im Bereich Fernerkundung • Professor für Geoinformatik • Doktorandin/Mitarbeiterin Geographiedidaktik • Geographiestudium, Fernerkundung im Hauptstudium, Lehrend in der Luftbildinterpretation • Promotion im Bereich Fernerkundungsdidaktik • Promotion im Bereich Fernerkundungsdidaktik • Lehrend tätig in der GIS-Station • Dipl. Geographin, Seminare in der Fernerkundung besucht • Lehramt für Geographie, Seminare in der Fernerkundung besucht • Studium der Umweltwissenschaften mit Schwerpunkt Fernerkundung • Lehramt für Geographie, Tutorin für Fernerkundung • Geographie Studium, Nebenfach Fernerkundung

Zur Gruppe der Schüler gehören 31 Personen, davon sind 16 weiblichen und 15 männlichen Geschlechts. Die Gruppe hat ein mittleres Alter von 16 Jahren und geht in die 10. Klasse eines Gymnasiums in Baden-Württemberg. Getestet wurde am Gymnasium Isny, am Kant-

Gymnasium Karlsruhe sowie am Karl-von-Drais-Gymnasium Mannheim außerhalb der Schulzeit. Die Einwilligungen der Eltern liegen der Autorin vor.

Tabelle 3: Übersicht der soziodemografischen Angaben der Studienteilnehmer (Eigener Entwurf)

	Gesamt	männlich (abs./%)	weiblich (abs./%)	Mittleres Alter
Experten	19	10 (53 %)	9 (47 %)	34
Schüler	31	15 (48 %)	16 (52 %)	16

In Tab.3 ist die Verteilung der Geschlechter und das mittlere Alter abgebildet. Bei beiden Gruppen musste außerdem niemand wegen bestehender Rot-Grün-Blindheit ausgeschlossen werden. Dies wurde durch die Ishihara-Farbtafel getestet (vgl. Kap. 4.2.1).

6.2 Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern

Bei dieser Studie sollen sich die beiden Probandengruppen hauptsächlich in ihrer Expertise im Umgang mit Satellitenbildern unterscheiden. Um diesen Unterschied festzustellen, wurde außer der Erfassung der Vorerfahrung im Bereich der Fernerkundung, zusätzlich die Nutzung von Satellitenbildern quantitativ erfasst. Zur Beantwortung der Frage nach der persönlichen Nutzungshäufigkeit von Satellitenbildern, sollten die Probanden zwischen den beiden Extremen „einmal wöchentlich oder mehr“ und „nie“ auf einer sechsstufigen Skala den Umfang selbst einschätzen. Die Frage bezieht sich zum einen auf die Nutzung von Satellitenbildern im beruflich, bzw. schulischen Kontext sowie im privaten Bereich. In Abb. 18 sind die Angaben in Prozent beider Gruppen abgebildet. 29 % der Schüler geben an, dass sie noch nie im schulischen Kontext mit Satellitenbildern gearbeitet haben, 16,1 % haben „einmal im Jahr oder mehr“ und 19,4 % haben „einmal im halben Jahr oder mehr“ mit Satellitenbildern gearbeitet. Somit schauen sich 64,5 % der Schüler weniger als einmal im Monat Satellitenbilder an. Monatlich oder mehr schauten sich 12,9 % der befragten Schüler diese Art von Bildern vertiefend an.

50 % der Experten beantworteten die Frage mit „mehr als einmal wöchentlich oder mehr“. Weitere 22,2 % beantworteten die Frage mit „einmal monatlich oder mehr“, 16,7 % mit „einmal im halben Jahr“ und gar 11,1 % geben an, dass sie im beruflichen Kontext aktuell nicht mehr mit Satellitenbildern arbeiten.

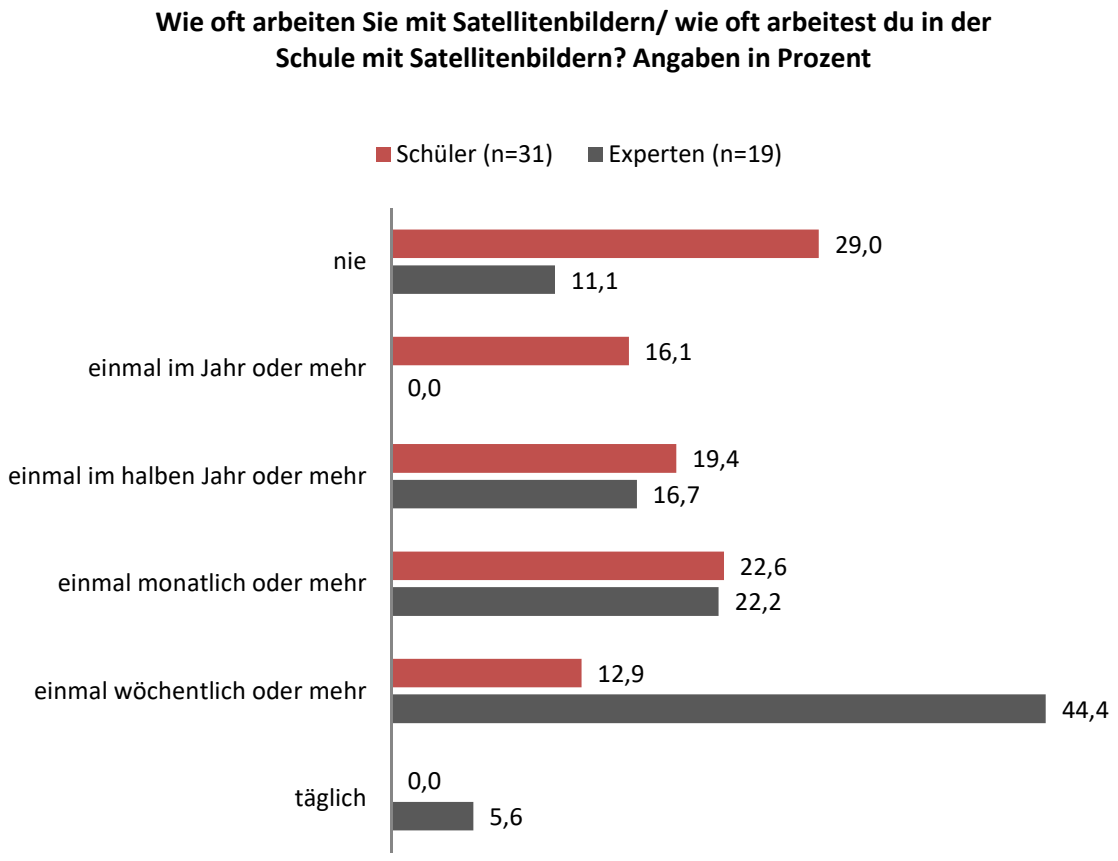


Abbildung 18: Vergleich der Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern im schulisch-beruflichen Kontext (Eigener Entwurf)

In der Gruppe der Schüler wurde der Einsatz der Satellitenbilder weiter spezifiziert und nach der Klassenstufe gefragt, in der Satellitenbilder eingesetzt wurden. 50 % gaben die Mittelstufe an, 39 % arbeiteten bereits in der Unterstufe mit Satellitenbildern (vgl. Abb. 19).

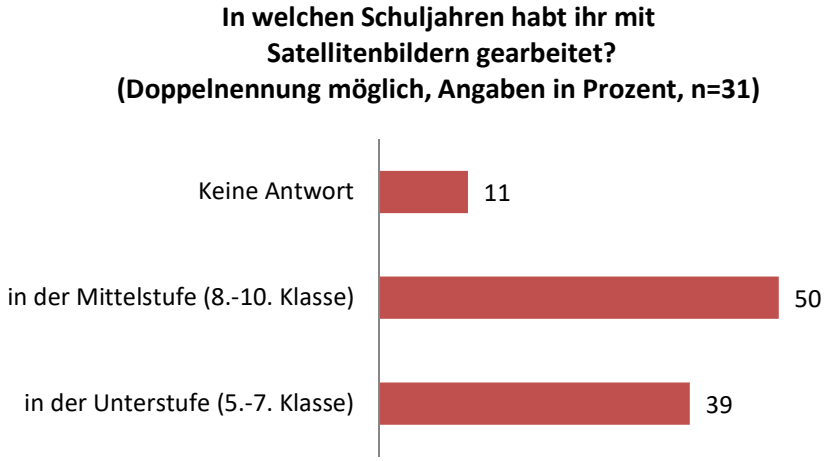


Abbildung 19: Ergebnis der Abfrage des Einsatzes von Satellitenbildern nach Klassenstufen (Eigener Entwurf)

Von besonderem Interesse ist auch die Nutzung der digitalen Geomedien außerhalb der Schule und des Arbeitsalltags, um die Arbeit mit Satellitenbildern umfänglich einschätzen zu

können. Wie zu erwarten, beschäftigen sich die Experten auch im privaten Kontext häufiger mit ihnen als die Schülergruppe.

Auf die Frage nach der Nutzung von Satellitenbildern im privaten Kontext kreuzte kein Experte „nie“ an. Lediglich 5,6 % geben an „einmal im Jahr oder mehr“ mit Satellitenbildern zu arbeiten. Mehr als zwei Drittel (72,2 %) widmen sich hingegen einmal wöchentlich oder mehr den Satellitenbildern. Jeweils 11,2 % sogar „täglich“, bzw. „einmal monatlich oder mehr“.

22,6 % der Schüler haben noch „nie“ im privaten Bereich mit Satellitenbildern gearbeitet. Ebenso viele Schüler (22,6 %) gaben an „einmal im Jahr oder mehr“ sie zu nutzen. Die Antwort „einmal im halben Jahr oder mehr“ kreuzten 16,1 % der Schülergruppe an. Das bedeutet, mehr als die Hälfte (61,3 %) der teilnehmenden Schüler hat weniger als einmal im Monat bis zu keinmal Kontakt mit den Bildern. Die übrigen Schüler nutzen mindestens einmal monatlich Satellitenbilder zur Informationsgewinnung, davon haben 9,7 % sogar einmal wöchentlich oder mehr mit Satellitenbildern zu tun. Die Nutzungshäufigkeit von Satellitenbildern im privaten Kontext der beiden Gruppen ähnelt der Auswertung der schulischen, bzw. beruflichen Situation.

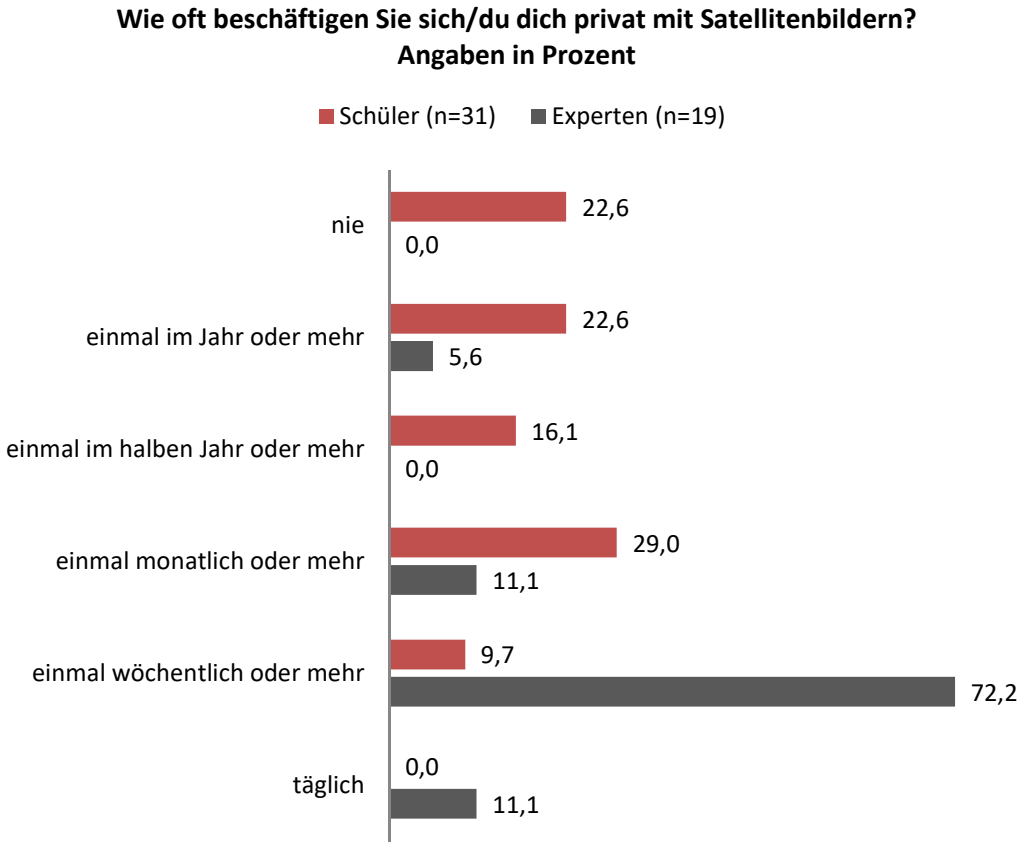


Abbildung 20: Vergleich der Nutzungshäufigkeiten von Satellitenbildern im privaten Kontext (Eigener Entwurf)

Der Nutzungshäufigkeit der beiden Gruppen lässt sich mittels der Maße der zentralen Tendenz respektive des Median und des Modalwertes weiter beschreiben. Die Codierung ist:

1 = täglich bis zu 6 = nie. Der Median, also derjenige Wert, der die Gesamtzahl der Fälle halbiert (Bortz, 2005). Er liegt bei der Frage zur beruflichen/schulischen Nutzung bei den Experten auf 2,5 und den Schüler auf 4. Ebenfalls unterschiedlich ist der Median für beide Gruppen für die private Nutzung. Die Experten erhalten den Wert 2, die Schüler einen Wert von 4. Mit Blick auf die Modalwerte, also dem Wert der am häufigsten vorkommt, ergibt sich für beide Fragen bei den Experten ein Wert von 2 und bei den Schülern ein Wert von 6. Die Schüler kreuzten also am häufigsten auf die Frage nach der Häufigkeit des Satellitenbildeinsatzes in der Schule „nie“ an.

Tabelle 4: Median und Modalwert der Nutzungshäufigkeit von Experten und Schülern (Eigener Entwurf)

Gruppe		Schul./Berufl. Nutzung	Private Nutzung
Experte	N	19	19
	Median	2,5	2
	Modalwert	2	2
Schüler	N	31	31
	Median	4	4
	Modalwert	6	3

Der Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz erfolgt mit dem U-Test von Mann-Whitney (Bortz, 2005). Das Ergebnis zeigt, die Experten weisen eine häufigere Nutzung von Satellitenbildern in ihrem beruflichen Kontext auf (Median = 2,5, niedrige Werte stehen für eine häufigere Nutzung) als die Schüler (Median = 4,0; exakter Mann-Whitney-*U*-Test: p=.004). Für die Betrachtung von Satellitenbildern im privaten Bereich weisen die Experten ebenfalls eine häufigere Nutzung (Median = 2,0) als die Schüler (Median = 4,0; exakter Mann-Whitney-*U*-Test: p=.000). Die beiden Gruppen unterscheiden sich also deutlich hinsichtlich der Nutzung von Satellitenbildern im beruflichen, bzw. schulischen und privatem Kontext.

6.3. Ergebnisse der Eye Tracking-Studie

Folgend werden die Ergebnisse der Eye Tracking Studie anhand der maßgebenden Untersuchungsparameter: Fixationshäufigkeiten, Fixationsdauer, der Verweildauer, den Matrizen zum Übergang zwischen den Area of Interests, dem Scanpath ratio und dem Verhältnis von Sakkaden zu Fixationen dargelegt. Daran schließen die qualitativen Ergebnisse der Laut Denken-Protokolle an.

Nach der Sicherstellung der Datenqualität können 19 Experten und 31 Schüler in die Analyse einbezogen werden. Die Aufnahmerate liegt bei den Experten zwischen 80 und 83 %. Bei den Schülern fällt sie etwas geringer aus und liegt bei 77 %.

Tabelle 5: Aufnahmerate pro Satellitenbild (Eigener Entwurf)

	Satellitenbild Malaysia (%)	Satellitenbild Aralsee (%)	Satellitenbild Grenzregion (%)
Experten	83	80	83
Schüler	77	77	77

Bei der Erhebung wurde auf die Einhaltung der Testgütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität geachtet. Durch eine standardisierte und einen teils automatisierten Durchlauf, kann die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität ausreichend gewährleistet werden. Die einzig empfindliche Phase ist die der Laut Denken-Protokolle, aber da die Probanden von der Versuchsleiterin meist nur aufgefordert wurden weitere Äußerungen zu geben wird hier keine Verletzung der Objektivität gesehen. Sind für die Auswertung Schwellenwerte zu definieren, dann lehnen sie sich an die zur Verfügung stehende Literatur an.

Die Messgenauigkeit eines Tests bzw. seiner Reliabilität setzt zunächst eine hohe Objektivität voraus, die in diesem Fall gegeben ist (Döring & Bortz, 2016). Blickbewegungsparameter sind zudem sehr präzise zu messen und anschließend auszuwerten.

Evidenzquelle für die Validität der Messergebnisse der Blickbewegungen ist das Laut Denken-Protokoll. Zwischen Laut Denken-Protokollen und Blickbewegungsdaten gibt es eine relativ hohe Übereinstimmung zwischen den aus verbalen Auskünften gewonnenen Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Probanden und den Fixationsorten, bzw. -dauer (Funke & Spering, 2006).

6.3.1 Analyse der Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen

Zunächst werden die Ergebnisse für die mittlere Fixationsdauer und die Anzahl an Fixationen für alle Satellitenbilder dargelegt. Die Stichprobengröße für die beiden genannten Auswertungen umfasst 19 Datensätze von Experten und 31 Datensätze von Schülern.

Bezüglich der mittleren Fixationsdauer pro Satellitenbild und Gruppe gibt es keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tab 6). Die Mittelwerte liegen für alle Stimuli sehr eng beieinander. Die mittlere Fixationsdauer der Experten für den Stimulus Malaysia liegt bei 261,1 ms (sd = 58,7 ms), für den Stimulus Aralsee bei 233,8 ms (sd = 53,0 ms) und für den Stimulus Grenzregion bei 245,4 ms (sd = 48,3 ms). Die Schülergruppe hat sehr ähnliche Mittelwerte der Fixationsdauer erzielt. Für das Satellitenbild Malaysia liegen sie bei 247,2 ms (sd = 46,2), beim Satellitenbild Aralsee bei 238,0 ms (sd = 67,2 ms) und beim Satellitenbild Grenzregion bei 251,3 ms (sd = 45,6 ms). Die Standardabweichungen beider Gruppen weisen auf die Verteilung der Werte um den Mittelwert hin und auch diese ist bei den Experten und den Schülern in nahezu gleichem Umfang verteilt.

Auch die Anzahl der Fixationen über die komplette Testzeit ist sehr homogen. Die beiden Gruppen unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander.

Tabelle 6: Mittlere Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen für die Satellitenbilder Malaysia, Aralsee und Grenzregion (Eigener Entwurf)

	Stimulus	Malaysia	Aralsee	Grenzregion
Experten	N	19	19	18
	Fehlend	0	0	1
	Mittlere Fixationsdauer [ms]	261,1 (sd =58,7)	233,8 (sd = 53,0)	245,4 (sd = 48,3)
	Anzahl Fixationen	155,59 (sd = 17,24)	158,05 (sd = 20,6)	166,67 (sd = 21,6)
Schüler	N	31	31	31
	Fehlend	0	0	0
	Mittlere Fixationsdauer [ms]	247,2 (sd = 46,2)	238,0 (sd = 67,2)	251,3 (sd = 45,6)
	Anzahl Fixationen	157,0 (sd = 19,8)	160,0 (sd = 25,6)	157,52 (sd = 25,69)

Statistische Verfahren bestätigen die bereits angedeutete Homogenität für die beiden Parameter Fixationsdauer und Anzahl Fixationen. Die zunächst auf Normalverteilung durch den Kolmogorov-Smirnov-Test geprüften Daten werden anschließend hinsichtlich ihrer Varianzgleichheit durch den Levene-Test untersucht, der zudem Voraussetzung für die Anwendung des T-Tests ist. Der anschließend angewandte T-Test vergleicht systematisch die

Mittelwerte von zwei unabhängigen Stichproben, vorausgesetzt die Daten sind intervallskaliert und normalverteilt (Bortz, 2005). Beides ist bei allen Datensätzen gegeben.

Für das Satellitenbild Malaysia gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den getesteten Parametern Anzahl Fixationen und mittlere Fixationsdauer. Gleiches gilt für die beiden anderen Satellitenbilder. Die Mittelwertunterschiede sind statistisch nicht signifikant. Zusammenfassend lässt sich für die Analyse der Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen über die gesamte Testzeit festhalten, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich dieser Parameter über die gesamte Testzeit gibt.

Die zunächst angenommene Homogenität zwischen den beiden Gruppen wird in Frage gestellt, wenn man die mittlere Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen auf der Zeitachse weiter ausdifferenziert und die Ergebnisse sich nach Zeitabschnitten betrachtet. Folgend werden die Auswertungen für jedes Satellitenbild einzeln vorgenommen.

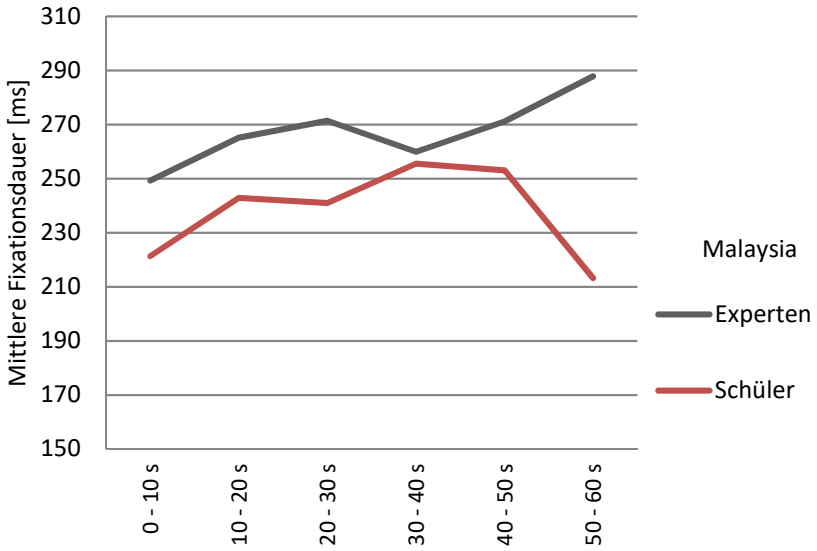


Abbildung 21: Mittlere Fixationsdauer nach Zeitabschnitten für das Satellitenbild Malaysia ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf)

Abb. 21 verdeutlicht, dass die mittlere Fixationsdauer der Experten die ganze Testzeit über der mittleren Fixationsdauer der Schüler liegt. Die Experten fixieren demzufolge die Bildelemente des Satellitenbildes Malaysia im Mittel länger als die Schülergruppe. Die statistische Prüfung mittels T-Test zeigt, dass es nur im letzten Zeitintervall einen signifikanten Unterschied (p = 0,047) zwischen den Gruppen gibt. In der Gruppe der Experten wurden längere Fixationen (M = 287,87 ms; sd = 112,9 ms) als in der Gruppe der Schüler (M = 213, 21 ms; sd = 127,1 ms) beobachtet. Es sollte außerdem nicht unerwähnt bleiben, dass der Unterschied im ersten Zeitintervall zwar nicht signifikant (p = 0,068), aber

beachtenswert ist. Die Experten fixierten die Bildelemente im Mittel 249,26 ms (sd = 60,3 ms) und die Schüler 221, 36 ms (sd = 42,1 ms) lang.

In Abb. 22 ist exemplarisch der Blickverlauf eines Probanden der Expertengruppe (VP_1; grün) und eines Schülers (VP_13_S; blau) für die ersten 10 Sekunden übereinandergelegt. Die Kreise entsprechen dem Ort einer Fixation und die Größe des Kreises ist äquivalent zur Dauer der Fixation. Je länger eine Fixation ausgeführt wurde, desto größer ist der Kreis. Der Experte zeigt bereits zu Beginn der Betrachtungszeit längere Fixationen als der Schüler. Nach Just & Carpenter (1980) findet hier eine tiefere kognitive Verarbeitung statt. Der Blickverlauf des Schülers verläuft zunächst hauptsächlich parallel zu den visuellen (Weg-) Achsen. Der Experte tastet bereits in den ersten zehn Sekunden die einzelnen Bereiche mit mehreren und längeren Fixationen ab.

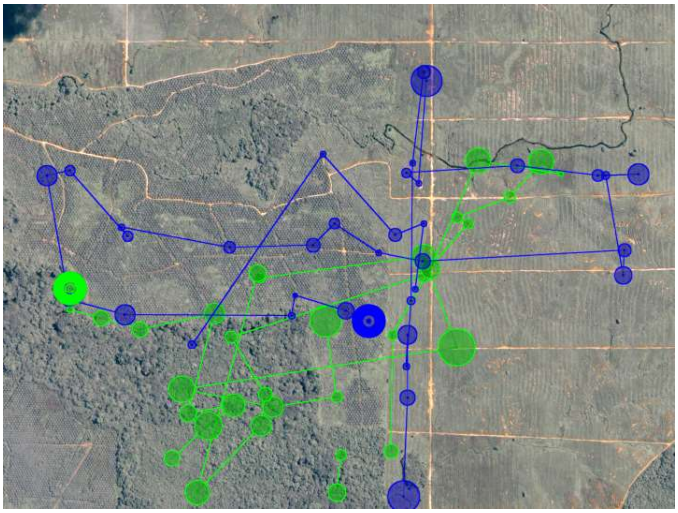


Abbildung 22: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Malaysia (Eigener Entwurf)

Die Gruppe, die länger fixiert hat demzufolge auch weniger Fixationen. Die Experten, die wie oben beschrieben im Durchschnitt länger einen Bildpunkt fixieren, zeigen auch weniger Fixationen. Erst ab der 30. Sekunde nähern sich die Mittelwerte der beiden Gruppen an und fallen parallel zueinander ab. Beide Gruppen fixieren im Verlauf der Zeit deutlich weniger. Das Niveau zu Beginn des Durchlaufs liegt bei 30 - 33 Fixationen und flacht zum Ende auf 13 - 17 Fixationen ab.

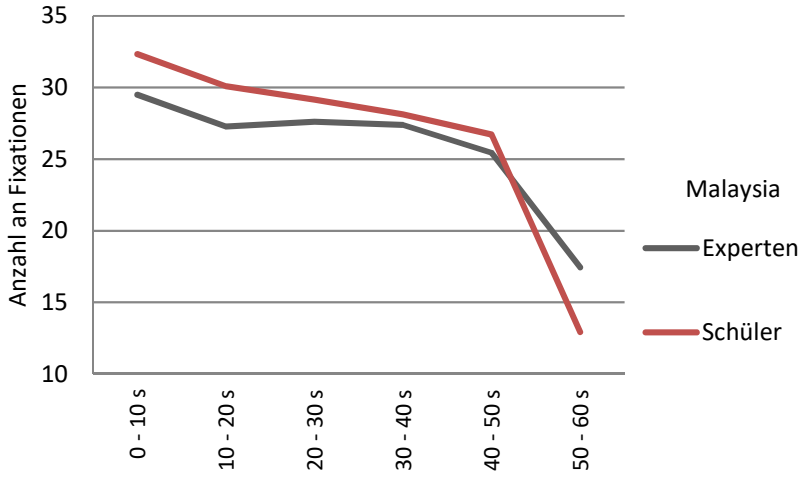


Abbildung 23: Anzahl der Fixationen für das Satellitenbild Malaysia ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf)

Das Ergebnis aus dem T-Test bestätigt, dass es einen deutlichen Unterschied in der Anzahl an Fixationen in den ersten beiden Zeitabschnitten gibt. Für den ersten Zeitabschnitt ist der Unterschied zwischen den Experten (M = 29,5; sd = 4,3) und den Schülern (M = 32,3; sd = 5,4) nicht signifikant, aber mit p = 0,066 ein durchaus informativer und bedeutsamer Unterschied in den Blickmustern. Innerhalb des zweiten Abschnittes (10 - 20 s) sind die Mittelwertunterschiede statistisch signifikant (p = 0,017). Es ist zu beobachten, dass die Experten weniger häufig fixieren (M = 27,28; sd = 3,4) im Vergleich zu den Schülern (M = 30,1; sd = 4,2).

Beim Satellitenbild Aralsee geht es vorwiegend um den Vergleich von zwei Satellitenbildern derselben Region zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten. Kennzeichnend für das Satellitenbild ist die Abnahme und Versalzung des Aralsees. Die Auswertung der Blickbewegungsdaten ergibt folgendes Bild.

Die mittlere Fixationsdauer liegt entgegen dem vorherigen Satellitenbild im gesamten Verlauf auf einem etwas niedrigeren Niveau. Das Spektrum bewegt sich zwischen 185 und 250 ms, da wahrscheinlich durch den Vergleich von zwei Bildern ein Abgleich- und Suchverhalten dominiert (vgl. Abb. 24). Die Experten fixieren bis zur Hälfte der Testzeit im Mittel länger als die Schüler. Erst nach 40 s Betrachtungszeit steigt die Fixationsdauer der Schüler an und liegt über dem Level der Experten. Zum Ende der Betrachtungszeit ist die Fixationsdauer der Schüler wieder deutlich niedriger als die der Experten. Das Ergebnis des T-Test gibt allerdings keine Signifikanzen für die in der Abb. 24 sichtbaren Unterschiede an.

Abbildung 24: Gemittelte Fixationsdauer nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Aralsee ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf)

Die beiden exemplarischen Blickpfade in Abb. 25 veranschaulichen den Unterschied in der mittleren Fixationsdauer innerhalb der ersten 10 s sehr deutlich. Der grüne Pfad ist erneut der Experte VP_1 und der blaue Pfad ist ein Proband auf der Schülergruppe (VP_13_S). Während der Experte bereits in den ersten 10 Sekunden länger die einzelnen Bildelemente in der näheren Umgebung betrachtet, also längere Fixationen (größere Kreise) zeigt, gehen die Blicke des Probanden aus der Schülergruppe zwischen den beiden Satellitenbildern hin und her. Kurze Fixationen und die üppigen Wechsel sind ein Zeichen für eine Phase der Orientierung. Wie in Abb. 24 dargestellt fixieren die Schüler erst im Laufe der Betrachtungszeit einzelne Bildelemente länger.

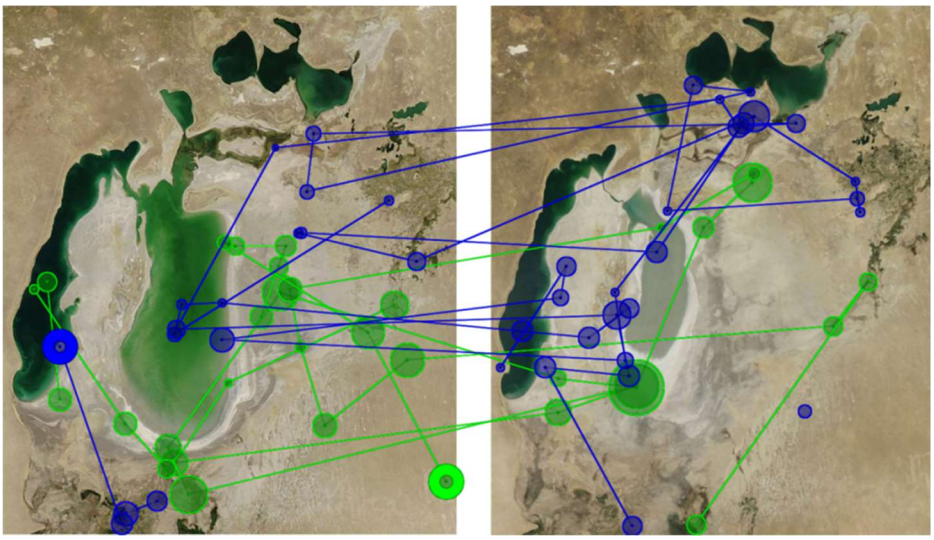


Abbildung 25: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Aralsee (Eigener Entwurf)

Abb. 26 präsentiert die Anzahl an Fixationen für das Satellitenbild Aralsee. Die Kurven verlaufen bis auf den letzten Abschnitt weitestgehend parallel. In den ersten vier Phasen fixieren die Experten weniger häufig die Bildelemente als die Schüler. Ab dem Zeitabschnitt 30 - 40 s verlaufen die Graphen (vgl. Abb. 26) nahezu parallel. Der Unterschied in der Anzahl an Fixationen im Zeitabschnitt 0 - 10 s ist signifikant (p = 0,017). Die Experten fixieren in diesem Zeithorizont im Mittel 30,53-mal (sd = 3,5), im Gegensatz zu den Schülern, die 33,25-mal ein Bildelement fixieren (sd = 3,7).

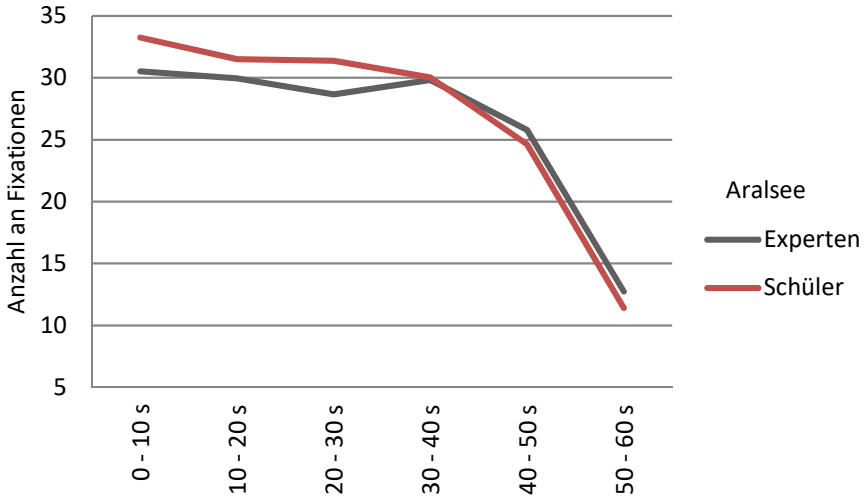


Abbildung 26: Anzahl Fixationen nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Aralsee ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf)

Auf dem letzten Satellitenbild mit dem Titel Grenzregion Kasachstan/China ist eine politische Grenze zu sehen, die sich im Landschaftsbild niederschlägt. Einem dicht besiedelten China steht ein sehr dünn besiedeltes Kasachstan gegenüber.

Abb. 27 zeigt die mittlere Fixationsdauer für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China. Wie bei den anderen beiden Satellitenbildern zuvor, fixieren auch hier die Experten zu Beginn der Betrachtungszeit die Bildelemente länger als die Schüler. Das Verhältnis dreht sich ab dem Zeitabschnitt 20 - 30 s um und die Schüler fixieren für die anschließenden zwei Zeitabschnitte deutlich länger als die Experten. Die Berechnung der Mittelwertunterschiede durch den T-Test zeigen allerdings keine statistisch signifikanten Unterschiede.

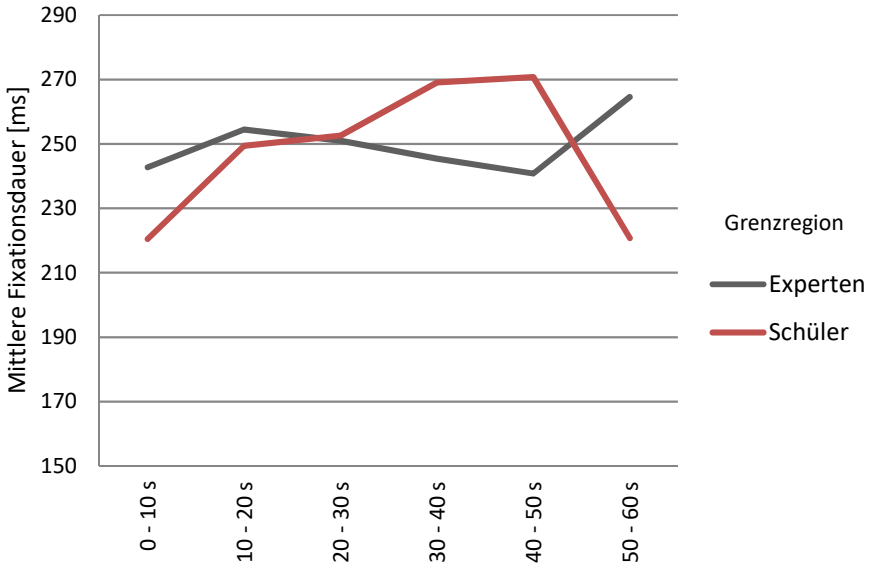


Abbildung 27: Gemittelte Fixationsdauer nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China ($n_{Experten}$=18; $n_{Schüler}$=29) (Eigener Entwurf)

Wie in Abb. 28 zu sehen, verlaufen die Graphen für die Anzahl an Fixationen nahezu parallel. Mit zunehmender Zeit nimmt die Anzahl an getätigten Fixationen beim Betrachten des Satellitenbildes Grenzregion Kasachstan/China zu. Zu Beginn der Messreihe liegen die Werte der Experten bei 30,75 Fixationen (sd = 3,6) und der Schüler bei 31,93 Fixationen (sd = 4,2). Diese sinken am Ende der Testzeit auf ein Niveau von 20,23 Fixationen (sd = 8,7) bei den Experten und 17,15 (sd = 9,1) bei den Schülern. Auch hier wurden die Mittelwerte der beiden Gruppen für jede Zeitscheibe mit dem T-Test auf Signifikanzen geprüft, allerdings gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied.

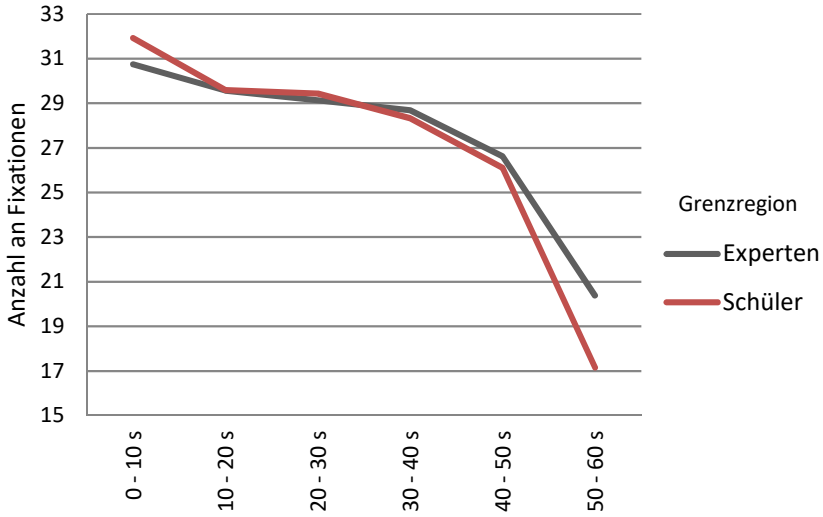


Abbildung 28: Anzahl Fixationen nach Zeitsegmenten für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China ($n_{Experten}$=16; $n_{Schüler}$=26) (Eigener Entwurf)

In Abb. 29 ist der Blickpfad eines Experten und eines Schülers in den ersten 10 s der Betrachtungszeit zu sehen. Der Schüler tastet mit kurzer Fixationsdauer die kasachische Seite, anschließend den Grenzstreifen und dann mit langer Fixationsdauer die chinesische Siedlung ab. Der Experte hat zu Beginn längere Fixationsdauern und erkundet die kasachische und die chinesische sowie den Grenzstreifen. Er zeigt mehr Wechsel zum Abgleich der beiden Seiten.

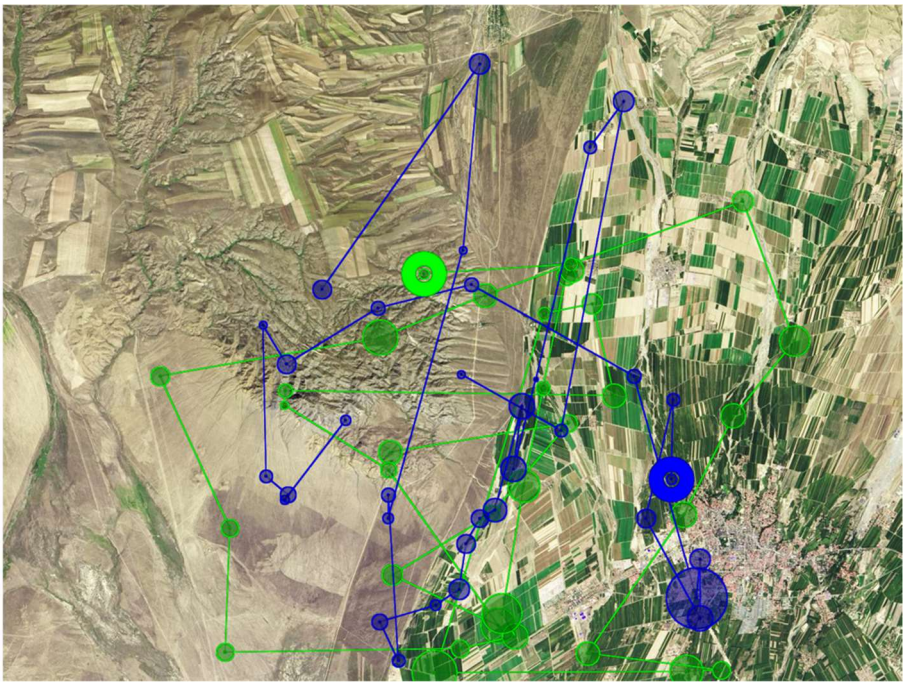


Abbildung 29: Blickpfade eines Experten (VP_1, grün) und eines Schülers (VP_13_S, blau) für die ersten 10 Sekunden der Betrachtungszeit des Satellitenbildes Grenuregion (Eigener Entwurf)

Für den Parameter Dauer der Fixationen ergibt die Datenauswertung folgendes Bild. Die Experten fixieren bei allen Satellitenbildern innerhalb der ersten drei Zeitabschnitte im Mittel länger als die Schüler. Dementsprechend lassen sich bei den Schülern mehr Fixationen bis zum dritten Abschnitt beobachten. Die Experten steigen damit mit längeren Fixationen in die Bildbetrachtung ein, während die Schüler durch kürzere Fixationen auf ein ausgeprägteres Orientierungsverhalten hinweisen.

6.3.2. Auswertung der Heat maps zur Ermittlung von aufmerksamkeitssteuernden Bildelementen

Ergänzend zu den bisherigen Ergebnissen der Anzahl an Fixationen und mittleren Fixationsdauer über die Testzeit, wird nun die räumliche Verortung der Fixationen betrachtet. Heat maps ermöglichen große Datensätze bildlich darzustellen und das Blickverhalten abhängig von der Fixationsdauer der Probanden anschaulich zu präsentieren. Regionen mit einer kurzen Fixationsdauer haben eine blaue, mittlere eine grüngelbe und

längere Fixationsleistung haben eine rote Färbung, die als transparente Ebene über dem Stimulus liegt. Die nun folgende Analyse der Heat maps zeigt, welche Elemente die beiden Gruppen besonders interessieren und worauf sie ihre Blicke lenkten.

Die Heat maps für das Satellitenbild Malaysia zeigen, dass grundsätzlich alle Landnutzungsklassen erfasst wurden: natürlicher Wald, gerodete Flächen, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wege und Gewässer.

In der Heat map (vgl. Abb. 30) der Experten (links) liegen die rotgefärbten Hotspots mit langer Fixationsdauer (> 255 ms) bis auf einen an stark strukturierenden Elementen wie Wegen (1) oder Flüssen (2). Ein Hotspot, der im Gegensatz zu den oben beschriebenen nicht an einem strukturierenden Element befindet, liegt in einer Plantage (3), die sich am rechten unteren Bildrand befindet. Zudem fällt der Blick der Experten auf einzelne Elemente, wie beispielsweise hervorstechende Bäume. Also Strukturen, die sich von der Umgebung abheben (4).

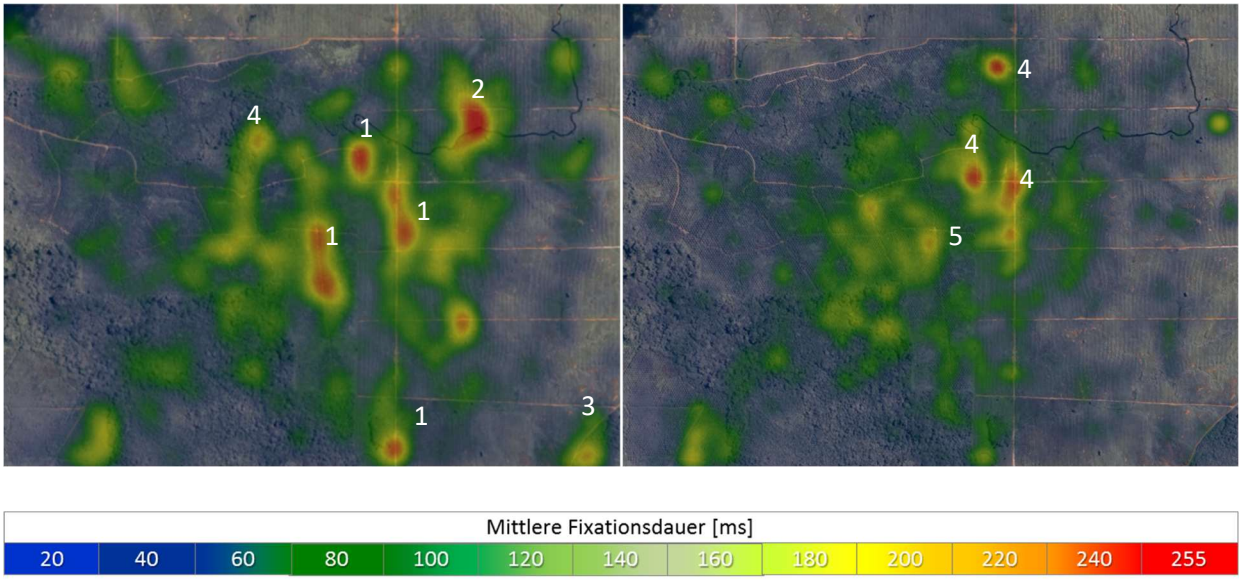


Abbildung 30: Heat maps für das Satellitenbild Malaysia der Experten (links) und Schüler (rechts) (Eigener Entwurf)

Im Gegensatz zu den Experten zeigt die Heat map der Schüler quantitativ weniger Hotspots (Fixationsdauer > 250 ms). Manche Elemente wurden von den Schülern auffallend kurz beachtet, wie beispielsweise die Plantage (bei den Experten 3) am unteren rechten Bildrand. Der Hotspot in der Mitte ist an der gleichen Stelle, wie bei den Experten lokalisiert und ist wie andere auch, die mit der Ziffer 4 gekennzeichnet sind, an strukturierenden Elementen zu finden. Darüber hinaus fixieren die Schüler ebenso flächige Elemente wie natürlicher Wald und Plantagen (5) mit erhöhter Fixationsdauer (> 250 ms). Eines derer liegt wieder inmitten eines bewirtschafteten Feldes oberhalb der Bildmitte, welches durch starke Bodenaufschlüsse geprägt ist, die evtl. der Anreiz einer langen Beachtungsdauer gewesen sein können.

Beim Satellitenbild Aralsee ist die Bildaussage dem Bildvergleich zu entnehmen. Die oberen beiden Bilder in Abb. 31 zeigen die Heat maps der Experten, die unteren beiden die Heat maps der Schüler.

Die Aufmerksamkeit der Experten liegt im rechten Bild der Satellitenbildaufnahme des Aralsees von 2008, auf dem die maßgeblichen topografischen Veränderungen zu sehen sind. Innerhalb dieser Aufnahme fixieren die Experten mit langer Dauer (> 300 ms) vor allem den westlichen Rand (1) des Großen Aralsees sowie die verlandete Fläche unterhalb dessen. Außer dem genannten Element fixieren sie, allerdings mit geringerer Dauer (grüngelbe Färbung), die Ränder des nördlich liegenden Kleinen Aralsees (2) sowie der westliche Teil des Großen Aralsees an den Punkten an denen starke Veränderungen festzustellen sind. Weiterhin liegen in deren Fokus die Sand- und Halbwüstengebiete südlich des Großen Aralsees (3). Der Hauptsee auf dem linken Satellitenbild spielt eine wesentlich unbedeuterende Rolle als auf dem linken Bild und ist nur mit Fixationen mittlerer Dauer betrachtet worden.

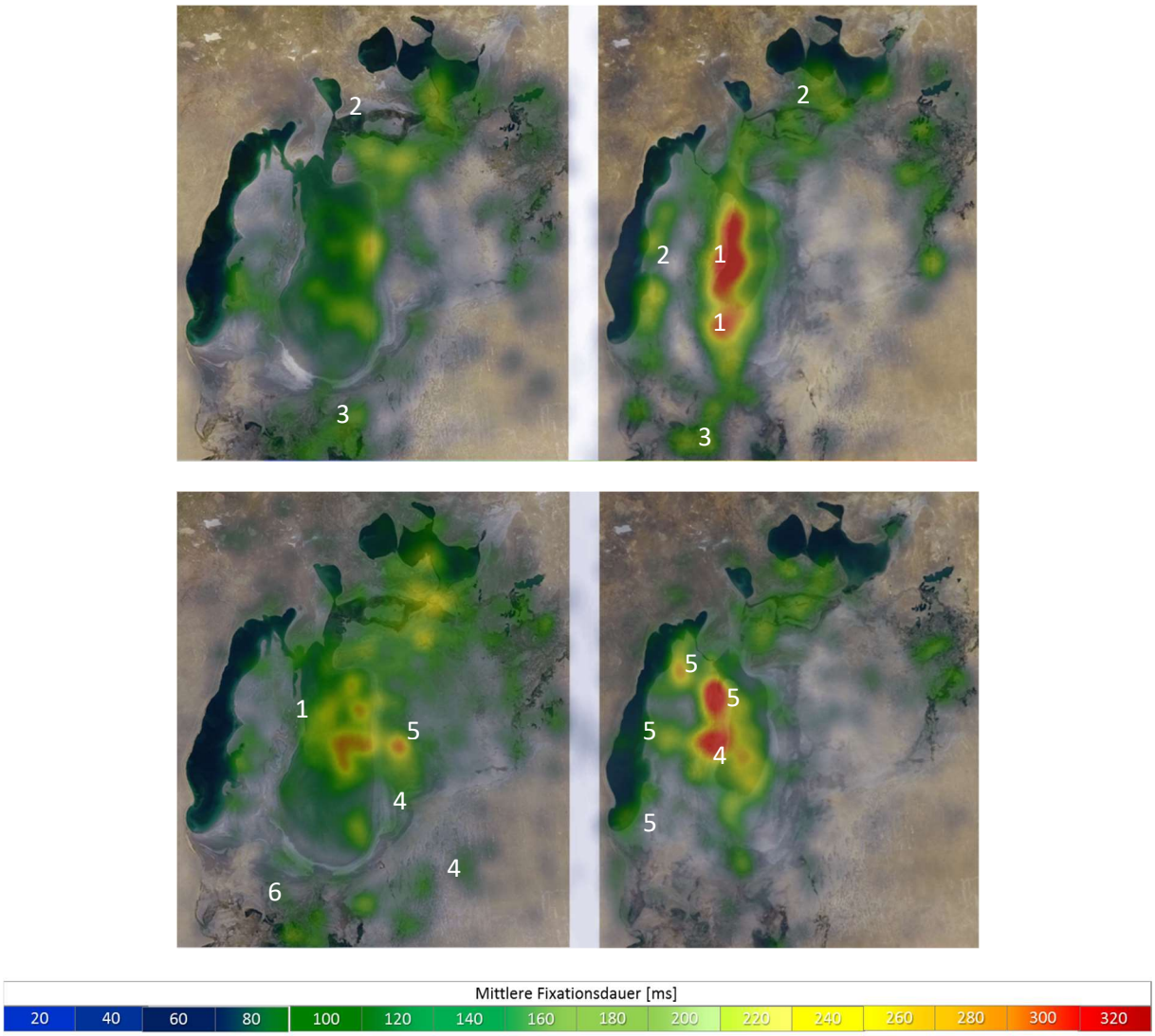


Abbildung 31: Heat maps für das Satellitenbild Aralsee der Experten (oben) und Schüler (unten) (Eigener Entwurf)

Die Heat map der Schüler zeigt im Gegensatz zur Heat map der Experten sowohl auf dem linken als auch auf dem rechten Bild rotgefärbte Bereiche. Eine dieser Hotspots liegt im linken Bild inmitten des Aralsees und zieht sich bis ans Ufer (4). Ein weiterer Hotspot befindet sich im rechten Bild an der linken Seehälfte. Ebenso wie bei den Experten fixieren sie Bildelemente am westlichen Aralsee, die besonders deutlich die Landschaftsveränderungen zeigen (5). Weitere Bereiche mit kürzeren Fixationen befinden sich südlich des Aralsees in der Salz- und Halbwüste (6). Die Schüler fixieren einzelne Bereiche, aber das Blickmuster deckt sich nicht mit dem rechten und linken Bild. Möglicherweise haben sie die Bildelemente erfasst, aber nicht miteinander verglichen.

In Abb. 32 sind die Heat maps für das Satellitenbild Grenzregion China/Kasachstan abgebildet. Links ist die Heat map der Experten und rechts die Heat map der Schüler zu sehen. Auf den ersten Blick sichtbar, ist der Unterschied in der Anzahl an Hotspots. Die Experten haben acht Bereiche langer Fixationen, die Schüler haben vier rotgefärbte Bereiche. Größter Hotspot ist in beiden Gruppen die Siedlung (1) am rechten unteren Bildrand.

Alle weiteren Hotspots der Experten unterscheiden sich räumlich von denen der Schüler. Dennoch fixieren beide Gruppen über den Stimulus verteilt alle Landnutzungsformen, wie Siedlung, Landwirtschaft, Brachland und Gebirge, allerdings an unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlicher Stärke.

Die Experten messen dem Grenzgebiet (2) besonders viel Aufmerksamkeit bei, verbleiben auch länger in landwirtschaftlichen Gebieten auf der kasachischen Seite (3). Die Aufmerksamkeit der Schüler ist vor allem auf die chinesische Siedlung gerichtet, sowie auf die umliegende Landwirtschaft (4). Ein markanter Berggipfel auf der kasachischen Seite liegt im Interesse der Schüler und wird länger (gelbgrüne Färbung) fixiert (5).

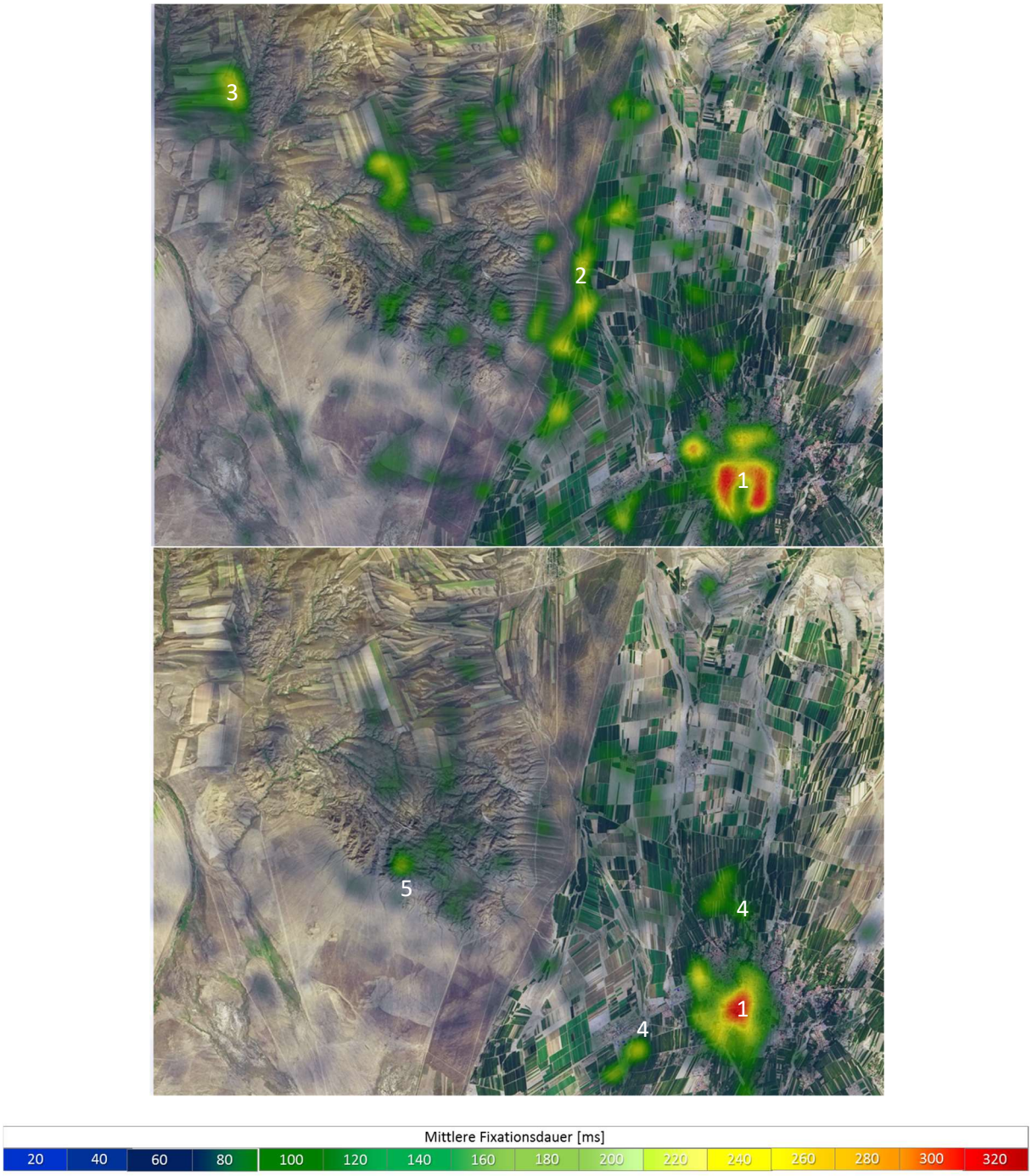


Abbildung 32: Heat maps für das Satellitenbild Grenzregion der Experten (oben) und Schüler (unten) (Eigener Entwurf)

Die Verortung der Fixationen für alle Satellitenbilder zeigt, dass beide Gruppen besonders lange an strukturierenden Elementen, wie Flüsse oder Wege verweilen. Beim Bildvergleich zur Problematik des Aralsees sind es unter anderem sich verändernde Landschaftselemente wie der Verlandung von Seebuchten, die das Interesse beider Gruppen auf sich ziehen. Die Schülergruppe fokussiert zudem besonders hervorstechende Bildelemente wie einzelne Bäume oder Berggipfel. Unterschiede gibt es in der Anzahl an Hotspots, denn die Heat maps für die Satellitenbilder Malaysia und Grenzgebiet der Expertengruppe beinhalten deutlich mehr als die Schülergruppe. Zudem fixieren die Schüler manche Bildelemente kaum, wie zum Beispiel das Grenzgebiet zwischen Kasachstan und China. Aufgrund dieses Ergebnisses

kann folgende Frage diskutiert werden, ob die Experten mehr für die Bildaussage relevante Elemente als die Schüler in den Fokus nehmen. Folgende Analyseschritte wie die Auswertung der Gridded AOI sowie der Area of Interests können hier gefundene Unterschiede statistisch be- oder widerlegen.

6.3.3 Die Verweildauer als Maß für die Aufmerksamkeit

Die folgende Auswertungsmethode der Gridded Area of Interest (Gridded AOI) gibt für jedes Raster die durchschnittliche Verweildauer über die gesamte Testzeit pro Satellitenbild und Probandengruppe an. Diese setzt sich sowohl aus Sakkaden als auch aus Fixationen zusammen. Durch diese Methode lässt sich beschreiben, wie genau die Teilnehmer den Stimulus abscannen und welchen Bildbereichen am meisten Aufmerksamkeit zugesprochen wurde. Bei einer höheren Blickverweildauer ist von einem höheren Grad der Informationsaufnahme auszugehen. Das größte Problem der Gridded AOIs ist eine sinnvolle Rastergröße zu finden. Bei dieser Auswertung wurde ein 14 x 11 Raster über die einzelnen Satellitenbilder gelegt, da die Bildelemente sehr kleinräumig sein können. Aufgrund der gerasterten Darstellung ist eine exakte semantische Zuordnung der Aufmerksamkeit auf die einzelnen Bildelemente nicht das primäre Ziel dieses Auswertungsschrittes (Holmquist, 2011).

Die leitende Frage der Auswertung bei der Gridded AOIs ist, wo verweilen die Experten im Vergleich zu den Schülern länger, kürzer oder gar gleich lang? Je röter die Farbe, desto länger wurde die Area of Interest im Mittel betrachtet.

Im Gegensatz zu den Schülern haben die Experten quantitativ mehr Bereiche, die eine lange Verweildauer anzeigt (rote bis orangene Einfärbung) (vgl. Abb. 33). Besonders viel Aufmerksamkeit wurde dem von unten nach oben verlaufenden Weg geschenkt, der das Satellitenbild stark strukturiert. Der höchste Wert mit 920,6 ms liegt allerdings in einem Quadrat rechts neben der Wegachse auf einem stark strukturierten Feld. Im Gegensatz zu den Schülern betrachten sich die Experten auch weiter außerhalb der Bildmitte liegende Elemente, wie hier ein kleineres Stück Wald im Feld oben links und unten rechts. In der Zelle oben links beträgt die mittlere Verweildauer der Experten 250,5 ms gegenüber der von den Schülern mit 74,2 ms. Im Raster unten rechts verbleiben die Experten im Mittel 1.107,2 ms und die Schüler 452,9 ms.

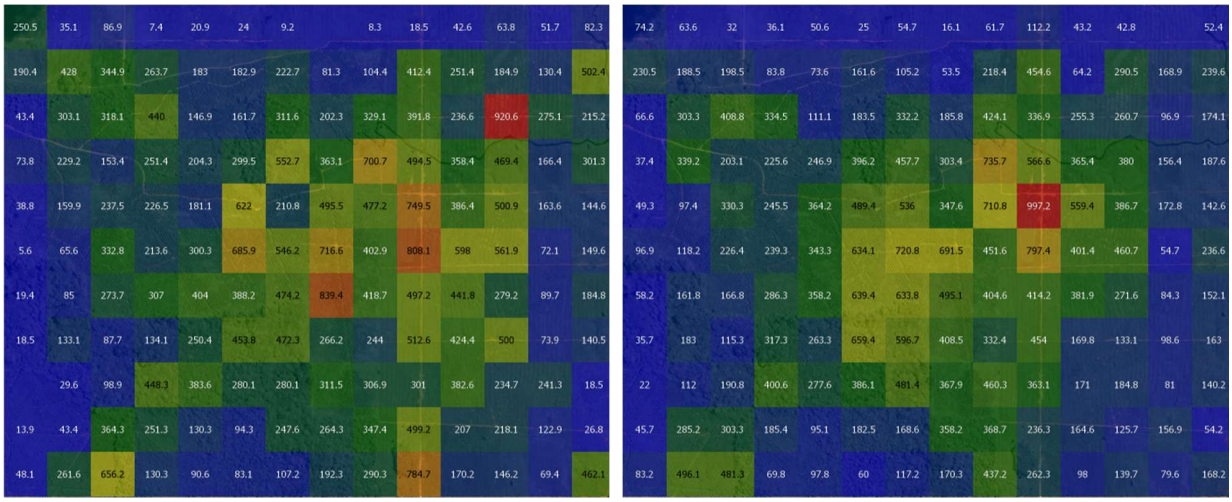


Abbildung 33: Darstellung der Gridded AOIs für die gemittelte Verweildauer der Experten (links) und Schüler (rechts) des Satellitenbildes Malaysia (Eigener Entwurf)

Die Konzentration längerer Verweilzeiten innerhalb der Bildmitte wirft die Frage auf, ob die Schüler in äußeren Bildbereich kürzer verweilen als die Experten? Um diese Frage zu beantworten, wurden die äußeren Zellen summiert und dann Ring für Ring in Richtung Bildmitte vorgegangen. Die Experten erreichen eine gesamte Verweildauer im ersten Ring von 5.623 ms, das entspricht bei einer gesamten Verweildauer von 44.873,3 ms. Die Schüler verbringen im äußersten Bereich 5.0155 ms, bezogen auf die Gesamtzeit von 47.940,4 ms entspricht das einem Anteil von 10.46 % (vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Verweildauer für das Satellitenbild Malaysia auf Grundlage der Gridded AOIs (Eigener Entwurf)

	Gesamt	1. Ring (ganz außen)	2. Ring	3. Ring
Experten (n=18)	44.873,3 ms	5.623 ms **(12,5 %)**	9.929,3 ms **(22,13 %)**	17.096 ms **(38,1 %)**
Schüler (n=30)	47.940,4 ms	5.155 ms **(10,46 %)**	8.396,7 ms **(17,51 %)**	8.311,9 ms **(17,34 %)**

Tab. 7 verdeutlicht weiter, dass auch in den folgenden Reihen die Experten mehr Zeit verbringen das Bild zu inspizieren als die Schüler. Möglicherweise liegt der Fokus der Schüler mehr auf dem Bildzentrum als in den äußeren, aber dennoch bedeutsamen Bildbereichen.

Die Gridded AOI für die Satellitenbilder Aralsee sind nur mit Einschränkungen auszuwerten, weil sich die Einteilung der Raster technisch nicht feinjustieren lässt, so dass innerhalb einer Gruppe die Raster pro Satellitenbild nicht identisch sind. Der Vergleich zwischen den Satellitenbildaufnahmen von 2002 zu 2008 ist deswegen nur bedingt möglich und es wird deshalb auch nicht weiter darauf eingegangen. Möglich ist allerdings der Vergleich zwischen den Experten und Schülern, weil die gleiche Rastereinteilung zugrunde liegt.

Die Experten verweilten länger im rechten Satellitenbild, das den Aralsee im Jahr 2008 zeigt. Hier interessiert diese Gruppe vor allem der rechte Teil des Großen Aralsees. Die Schüler

hingegen zeigten für beide Satellitenbildaufnahmen ein ähnlich starkes Interesse, so dass auch im linken Satellitenbild Raster mit längerer Verweildauer von 2.036,6 ms zu verzeichnen sind.

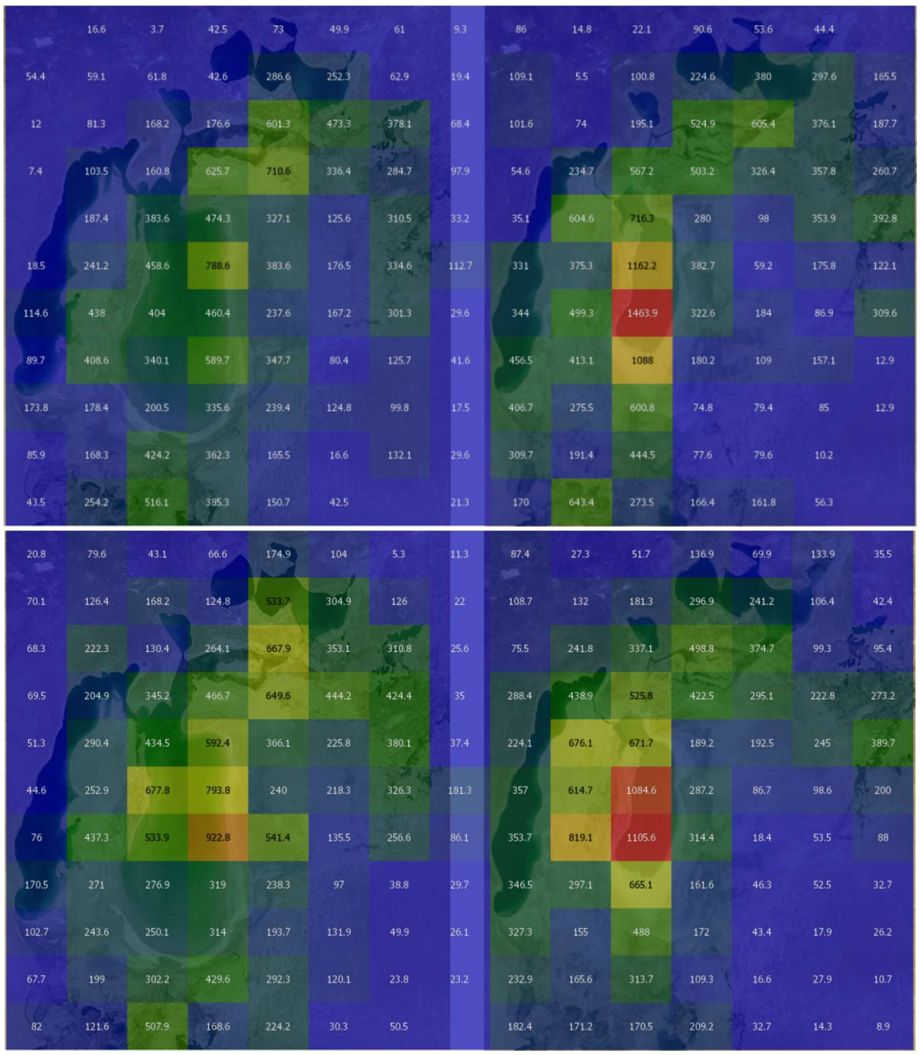


Abbildung 34: Gridded AOIs der Experten (oben) und Schüler (unten) für die Satellitenbilder Aralsee 2002 (li.) und 2008 (re.) (Eigener Entwurf)

Das Ergebnis der Gridded AOIs für das Satellitenbild Grenzregion Kasachstan/China wird in Abb. 35 präsentiert. Die Bildbereiche, die am meisten Aufmerksamkeit auf sich ziehen sind bei den Gruppen sehr ähnlich. Es handelt sich um die Siedlungsstrukturen am rechten unteren Bildrand, die Grenzregion, die bewirtschafteten Felder auf der kasachischen Seite (linke Seite, mittig) und den landwirtschaftlichen Strukturen am oberen linken Bildrand ebenfalls auf der kasachischen Seite. Unterschiedlich ist allerdings die Verweildauer zwischen den Bildelementen. Beispielsweise betrachten sich die Schüler den Bereich der chinesischen Siedlung im Mittel 4.985,3 ms und die Experten nur 4.080,3 ms.

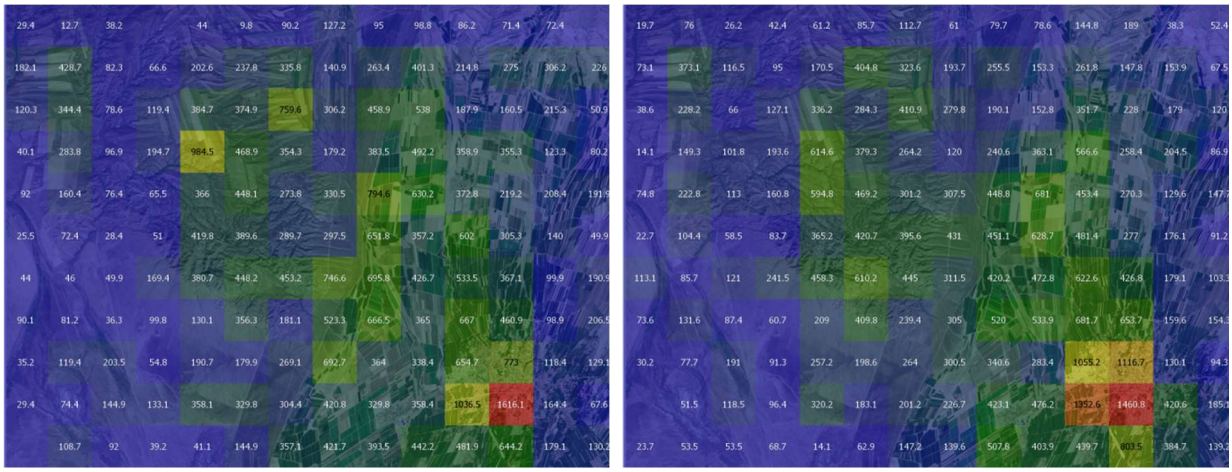


Abbildung 35: Gridded AOIs der Experten (links) und Schüler (rechts) für das Satellitenbild Grenzgebiet (Eigener Entwurf)

Die Auswertung der Gridded AOIs für die Satellitenbilder lässt erkennen, wie intensiv die Probandengruppe in einem bestimmten Bereich verweilt. Der Stimulus ist hierfür in Rasterzellen unterteilt für die je eine gemittelte Blickverweildauer berechnet wird. Je höher der Wert desto höher ist der Grad der Informationsaufnahme einzustufen.

Die Aufmerksamkeitsallokation der beiden Probandengruppen ist unterschiedlich, denn die Experten verweilen in manchen Bereichen länger als es die Experten tun. Die Verteilung der Aufmerksamkeit der Schüler ist fokussierter und weniger raumgreifend als die der Experten.

Die Gridded AOIs geben einen guten Überblick der Aufmerksamkeitsverteilung, aber machen nur sehr bedingt eine semantische Zuordnung möglich. Durch die folgende Auswertung der Area of Interest wird der Stimulus in spezifisch ausgewählte Bereiche unterteilt, die aus Forschungsperspektive besonders von Interesse sind. Anschließend kann isoliert werden, wie sich der Blickverlauf innerhalb der Areas of Interest verhält.

6.3.4 Analyse der Area of Interest nach Verweildauer, mittleren Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen

Area of Interest (AOI) sind definierte Bereiche mit Bezug zum Inhalt eines Stimulus, die hinsichtlich der Anzahl der Besuche, Verweildauer oder Abfolge sowie weiteren ausgewertet werden können. Beim Stimulus Malaysia und bei allen übrigen Bildern ist die Landnutzung das Kriterium für die Definition der AOIs, weil mögliche Erschließungsstrategien und Selektionsstrategien der Probandengruppen eruiert werden sollen. Das Satellitenbild ist in folgende AOIs aufgeteilt: *Felder 1 - 3, Plantagen 1 - 3* und *natürlicher Wald*, der jeweils nochmal differenziert und als *Wald 1* - *Wald 6* benannt wurde.

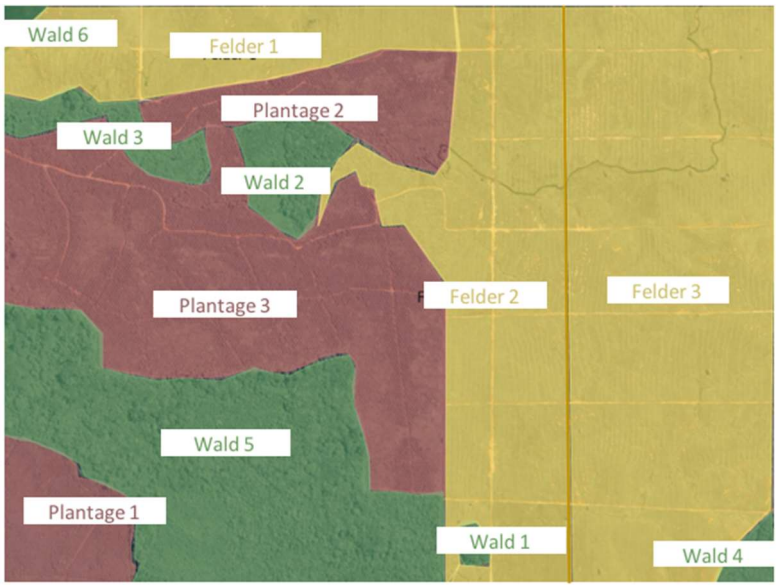


Abbildung 36: Die Area of Interests (AOI) des Satellitenbildes Malaysia
(Eigener Entwurf)

Das Wegenetz und die Gewässer, denen eigentlich eine eigene Landnutzungsklasse zugehört, konnten Softwarebedingt nicht eigens unterschieden werden und ordnen sich den jeweiligen Area of Interests unter. Damit aber die Auswertung ausreichend sensitiv und das flächenmäßig größte *AOI Felder* möglichst detailliert betrachtet werden kann, wurde dieses nochmals auf Grundlage der Heat map Auswertung in kleinere Felder unterteilt.

Folgend werden die Ergebnisse der Auswertung der definierten Area of Interests für das Satellitenbild Malaysia dargelegt. Abb. 37 zeigt die Verteilung der gesamten Verweildauer je AOI an. Die definierten Bereiche *Felder 2 & 3, Plantage 3* und *Wald 5* sind die am stärksten in den Fokus genommenen Bildbereiche beider Gruppen. Die genannten Gebiete zählen aber auch zu den größten AOIs und liegen zudem zentral in der Bildmitte.

Die *Felder 2* werden von den Experten im Mittel 11.832,5 ms (sd = 3.322,9), von den Schülern nahezu gleich lang mit 11.719,8 ms (sd = 4.664,8) betrachtet. Einen größeren Unterschied gibt es bei den *Felder 3*, in dem die Experten 9.249,3 ms (sd = 3.535,9 ms) verweilen. Die Schülergruppe erreichte für eben genanntes AOI 6.784,7 ms bei einer sehr

großen Standardabweichung von 4.231.3 ms. Wieder fast gleichauf ist die Verweildauer beim AOI *Plantage 3* mit 11.707,4 ms (sd = 3.542,1 ms) für die Experten und 12.279,5 ms für die Schüler (sd= 2.853,1 ms). Und zuletzt folgen die Werte für eines der vier AOIs, in denen die Probanden besonders lange verweilten. Es handelt sich um das AOI *Wald 5,* das die Experten im Mittel 7.434,8 ms (sd = 4.400,1 ms) und die Schülergruppe 6.108,7 ms (sd = 3.143,2 ms) betrachteten.

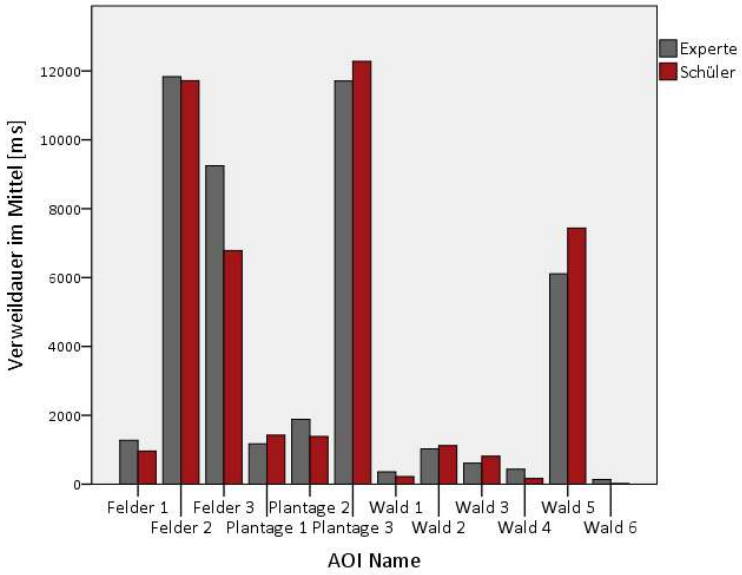


Abbildung 37: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Malaysia pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Der Mittelwertunterschied, getestet mit dem T-Test für unabhängige Stichproben, ist zwischen den Gruppen für das AOI *Felder 3* statistisch signifikant (p = 0,045), die übrigen Unterschiede hinsichtlich der Verweildauer je AOI sind allerdings nicht signifikant.

Wie oben bereits angesprochen, werden die *Waldgebiete 4 & 6*, die oben links und unten rechts liegen, von den Schülern nur in geringem Ausmaß wahrgenommen. Aber auch die Experten verweilen nur sehr kurz in diesen Bereichen. Die Abbildungen zeigen sehr deutlich, dass sich die Probandengruppen nur sehr gering in der Verweildauer je AOI unterscheiden.

Abb. 38 präsentiert die mittlere Anzahl an getätigten Fixationen (links) und die mittlere Fixationsdauer (rechts) je AOI für beide Probandengruppen an. Analog zur Auswertung der Verweildauern, fixieren die Probanden in den gleichen AOIs am häufigsten, in denen sie auch besonders lange verweilten: *Felder 2*, *Felder 3, Plantage 3* und *Wald 5*. In den Fällen *Felder 2* und *Plantage 3* fixieren die Experten im Mittel länger. Die Experten erreichen beim *AOI Felder 2* eine Fixationszeit von 260,5 ms (sd = 57,9 ms) und die Schüler 252,3 ms bei einer Standardabweichung von 55,7 ms. In diesem AOI betrachteten die Probanden, wie in den Heat maps bereits ersichtlich (vgl. Kap. 6.3.3) wurde, vor allem das Wegenetz. Das AOI *Plantage 3* wird ebenso von den Experten im Mittel länger betrachtet. Die mittlere Fixationsdauer beträgt 272,2 ms (sd = 74,9 ms), die der Schüler ergibt 245,5 ms (sd = 54 ms). Dieser Mittelwertunterschied ist signifikant (p = 0,037).

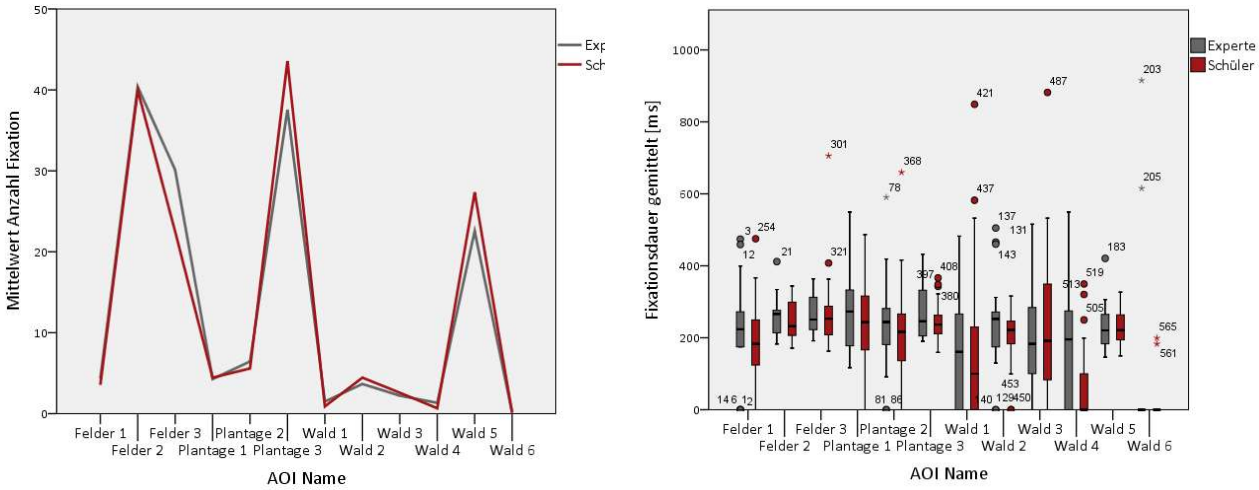


Abbildung 38: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Malaysia (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Bisherige AOI verbundene Auswertungen bezogen sich auf Blickbewegungsparameter und zeigen wie viele Fixationen je AOI getätigt wurden und wie lange die Probandengruppen darin verweilten.

In der nun folgenden Auswertung der Transition Matrix wird die Besuchsfolge, bzw. die Übergänge zwischen den einzelnen AOIs in den Fokus genommen. Die Prozentzahlen der Matrix in Tab. 8 geben die Übergänge von AOI zu AOI an. Die erste Zahl ist der Anteil der Übergänge für die Experten, die zweite Zahl ist der Anteil der Schüler. Die Farbe des Kastens markiert, welche Gruppe mehr Übergänge erzielte.

Tabelle 8: Transition Matrix für das Satellitenbild Malaysia (Experten n=18 (grau); Schüler n=29 (rot)) (Eigener Entwurf)

von zu (Übergänge Experte/ Übergänge Schüler in %)	Felder 3	Felder 2	Felder 1	Wald 1	Wald 2	Wald 3	Wald 4	Wald 5	Wald 6	Plantage 1	Plantage 2	Plantage 3
Felder 3		**9,5 8,2**	0,1 0,1	0,3 0,2	0,0 0,4	0,2 0,1	1,4 0,4	0,9 0,6	0,0 0,0	0,2 0,0	0,6 0,3	1,0 1,2
Felder 2	**11,1 8,8**		0,2 0,5	1,0 0,5	1,5 1,0	0,1 0,1	0,6 0,1	2,9 2,5	0,0 0,0	0,0 0,2	2,1 2,5	**7,1 8,6**
Felder 1	0,3 0,2	0,5 0,7		0,0 0,0	0,2 0,3	0,2 0,5	0,0 0,0	0,0 0,2	0,1 0,1	0,1 0,1	1,3 0,6	0,6 0,6
Wald 1	0,2 0,2	0,6 0,4	0,0 0,0		0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,1	0,6 0,3	0,0 0,0	0,1 0,1	0,0 0,0	0,2 0,2
Wald 2	0,2 0,1	1,0 1,1	0,3 0,2	0,0 0,0		0,3 0,2	0,0 0,0	0,2 0,3	0,0 0,0	0,0 0,0	0,7 1,0	1,3 2,2
Wald 3	0,1 0,0	0,1 0,0	0,9 0,5	0,0 0,0	0,1 0,3		0,0 0,0	0,0 0,1	0,0 0,0	0,0 0,1	0,3 0,4	1,0 1,6
Wald 4	1,0 0,3	0,8 0,1	0,0 0,0	0,2 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0		0,2 0,1	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
Wald 5	0,6 0,3	3,0 2,6	0,1 0,1	0,2 0,4	0,1 0,1	0,1 0,2	0,1 0,0		0,1 0,0	2,9 3,0	0,0 0,0	**7,9 8,7**

Wald 6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plantage 1	0,2	0,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,5	0,0	0,0			0,0	0,0	0,6	0,8
Plantage 2	0,2	0,2	2,3	2,6	1,0	0,9	0,0	0,0	0,6	0,5	0,6	0,5	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1			1,1	1,2
Plantage 3	0,9	1,3	**8,2**	**8,8**	0,6	1,2	0,1	0,1	1,9	2,4	1,0	1,5	0,0	0,1	**7,3**	**8,8**	0,0	0,1	0,4	0,3	0,9	1,0		

Besonders häufig wurde von beiden Gruppen zwischen den AOIs *Felder 2* zu *Felder 3* sowie *Plantage 3* zu *Wald 5* gewechselt. Es fällt auf, dass die Übergänge häufig in ein angrenzendes AOI vorgenommen wird, denn es werden kaum raumgreifende Blicksprünge getätigt.

Die Einteilung der Area of Interests (AOI) beim Satellitenbild Aralsee erfolgt nach dem gleichen Schema wie bei den vorherigen Bildern, bei denen die Landnutzung als Kriterium für die Definition der Interessensbereiche gewählt wurde. Beim Satellitenbild Aralsee sind dies je Aufnahmezeitpunkt der *Aralsee, Aralsee II*, *Kleiner Aralsee, Plantagen, Salz- und Halbwüste* sowie die *Waldschutzstreifen* und *Waldschutzstreifen II*. Die AOIs sind mit dem jeweiligen Aufnahmejahr des Satellitenbildes (2002 oder 2008) versehen und werden in Abb. 39 präsentiert.

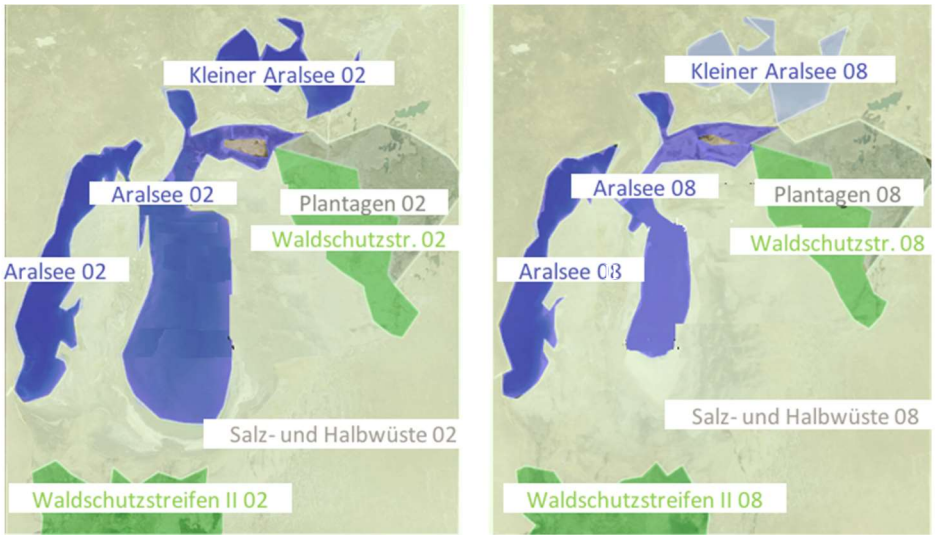


Abbildung 39: Die Area of Interests (AOI) der Satellitenbilder Aralsee von 2002 (links) und 2008 (rechts) (Eigener Entwurf)

Die Verteilung der Verweildauer, also die Fixationen und Sakkaden innerhalb eines AOIs, zeigt ein sehr ähnliches Blickverhalten der beiden Gruppen. Die größte Aufmerksamkeit legten Experten wie Schüler auf die *AOIs Salz- und Halbwüste 02 & 08*. In diesem Bereich ist auch die Verlandungszone abgebildet, die wie bei den Heat maps bereits gesehen, sehr ausgiebig betrachtet wurde. Die Experten verbrachten im Satellitenbild von 2002 im Mittel 5.183,9 ms (sd = 4.077,1 ms) innerhalb des *AOIs Salz- und Halbwüste 02*, die Schüler erreichten 5.449,4 ms (sd = 4.415,0 ms). Im *AOI Salz- und Halbwüste* im Satellitenbild 2008 verblieben beide Gruppen nahezu gleichlang, die Experten verweilten darin im Mittel 6.147,2 ms (sd = 4.655,3 ms) und die Schüler 6.156,1 ms (sd = 4.964,9 ms).

Die *AOIs Aralsee 02 & 08* sind Bereiche, in denen die Probanden hinter den Salz- und Halbwüstengebieten am längsten verweilten. Der Aralsee ist ohnegleichen das zentrale Element des Satellitenbildes, da sich anhand dessen die Umweltveränderungen besonders anschaulich ablesen lassen. Hingegen zum AOI *Salz- und Halbwüste*, das eher feinstrukturiert und sehr detailreich ist. Die vielen Details könnten der Grund für die höhere Verweildauer innerhalb der feinstrukturierten Bereiche sein. Die Experten blieben im *AOI Aralsee 02* 3.631,6 ms (sd = 2.312,4 ms) und die Schüler sogar etwas länger mit 4.702,3 ms (sd = 3.027,6 ms). Im *AOI Aralsee 08,* das die Auswirkungen der Seeverlandung besonders drastisch zeigt, verbrachten hingegen die Experten mehr Zeit (3.028,8 ms; sd = 2.080,4 ms). Die Schüler verweilten in diesem AOI etwas kürzer mit 2.462,8 ms (sd = 2.072,1 ms).

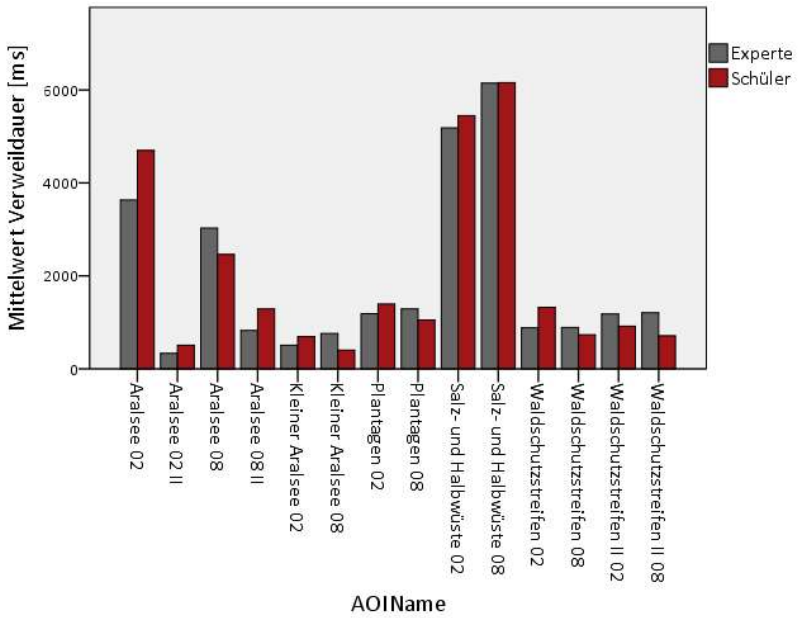


Abbildung 40: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Aralsee pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Wie bereits in der Heat map (vgl. Kap. 6.3.3) zu sehen ist, verweilen die Schüler länger im Satellitenbild 2002 als die Experten. Ausnahme ist nur das *AOI Waldschutzstreifen II 02* am unteren Bildrand. Das Satellitenbild 2008 liegt hingegen eher im Fokus der Experten (vgl. Abb. 40), die auf dieses Bild einen großen Anteil ihrer Aufmerksamkeit richteten.

Entsprechend der Verweildauer fixierten die Probanden in den *AOIs Aralsee 02, Aralsee 08* und der *Salz- und Halbwüste 02 & 08* besonders häufig im Gegensatz zu den übrigen Bereichen.

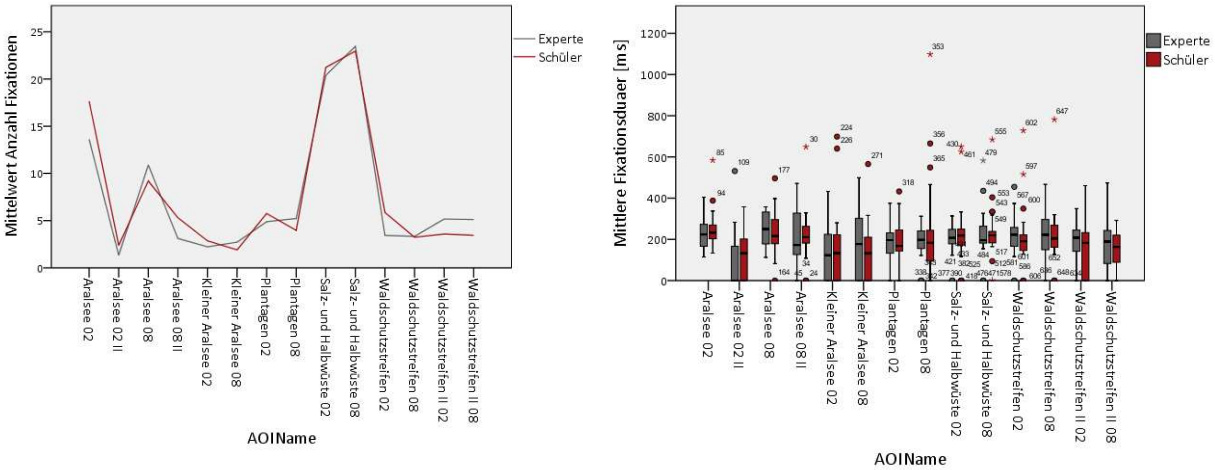


Abbildung 41: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Aralsee (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Deutliche Unterschiede in der mittleren Anzahl an Fixationen gibt es vor allem in den *AOIs Aralsee 02, Aralsee 08, Waldschutzstreifen 02* und *Waldschutzstreifen II in 02 & 08*. Die Anzahl an Fixationen im *AOI Aralsee 08* von Experten (M = 10,9; sd = 6,3) und den Schülern (M = 9,2; sd = 5,3) unterscheiden sich signifikant (p = 0,014). Die Experten fixieren in diesem Bereich signifikant häufiger als die Schüler. Im *AOI Waldschutzstreifen 02* hingegen fixieren die Schüler (M = 5,9; sd = 4,9) signifikant (p=0,031) häufiger als die Experten (M = 3,4; sd = 2,4).

Die kürzesten Fixationen fanden im *AOI Aralsee 02 II* statt. Die Experten fixierten im Mittel nur 93,9 ms lang (sd = 45,5 ms) und die Schüler 126,5 ms (sd = 107,1 ms). Der *Aralsee 02* wurde von den Probanden zwar erfasst, aber offensichtlich aufgrund der kurzen Fixationszeit nicht tiefergehend betrachtet. Vermutlich verbrachten die Probanden darin auch weniger Zeit, da es zwischen dem hier beschriebenen Interessensbereich keine Änderungen über die Jahre gab. Das gleiche Areal im Satellitenbild von 2008 wurde hingegen etwas länger fixiert. Die Experten fixierten im Mittel innerhalb dieses *AOIs Aralsee 08 II* 201,2 ms lang (sd = 145,2 ms) und die Schülergruppe 217,5 ms (sd = 119,3 ms).

Die längsten Fixationen finden sich im *AOI Aralsee 08*, dem Bereich in dem auch die anschaulichsten Veränderungen zu beobachten sind. Die Experten fixierten im Mittel 256,1 ms (sd = 79,3 ms) und die Schüler 231,3 ms (sd = 99,6 ms).

Die Übergangsmatrix für das Satellitenbild Aralsee zeigt sehr schön, dass die häufigsten Übergänge im Abgleich der *AOI Salz- und Halbwüste 02* mit der *Salz- und Halbwüste 08* lagen. 7,2 % der Übergänge von den Experten erfolgten vom *AOI Salz- und Halbwüste 08* in das *AOI Salz- und Halbwüste 02*. Bei den Schülern wechselten 9,9 % innerhalb der zuvor genannten AOIs. Der Blickübergang findet auch in umgekehrter Folge statt, 9,7 % der Blickwechsel der Experten und 3,0 % der Schüler erfolgten vom *AOI Salz- und Halbwüste 02* in das *AOI Salz- und Halbwüste 08*. Die Schüler wechseln zwar häufig vom *AOI Salz- und Halbwüste 08 zum gleichen AOI* in 02 aber zeigen deutlich weniger Übergänge vom *AOI Salz- und Halbwüste 02* in das gleiche AOI im Bild von 2008. Des Weiteren finden viele Wechsel

zwischen dem *AOI Aralsee* für beide Jahre mit dem *AOI Salz- und Halbwüste* innerhalb des jeweiligen Jahres.

Tabelle 9: Transition Matrix für das Satellitenbild Aralsee (Experten n=18; Schüler Experten n=29) (Eigener Entwurf)

von zu (Übergänge Experte / Übergänge Schüler in %)	Salz- und Halbwüste 08		Salz- und Halbwüste 02		Waldschutzstreifen II 08		Plantagen 08		Plantagen 02		Kleiner Aralsee 02		Aralsee 08		Waldschutzstreifen 08		Kleiner Aralsee 08		Aralsee 08		Waldschutzstreifen II 02		Waldschutzstreifen 02		Aralsee 02		Aralsee 02 II	
Salz- und Halbwüste 08			**7,2**	**9,9**	1,7	1,7	1,4	1,3	0,4	0,6	0,7	0,8	5,2	6,0	1,4	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	0,8	0,8	0,7	0,6	2,4	2,3	0,0	0,1
Salz- und Halbwüste 02	**9,7**	**3,0**			1,1	1,1	0,3	0,3	1,3	1,7	0,5	0,5	1,4	1,9	0,3	0,3	0,5	0,5	0,9	0,6	1,5	2,0	1,5	1,5	**5,5**	**5,3**	0,5	0,5
Waldschutzstreifen II 08	2,3	2,3	0,6	0,6			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Plantagen 08	1,5	1,6	0,3	0,4	0,1	0,1			0,8	0,9	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
Plantagen 02	0,8	1,0	1,5	1,7	0,1	0,1	0,7	0,6			0,1	0,1	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1
Kleiner Aralsee 02	0,1	0,1	0,9	1,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1			0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Aralsee 08	**5,1**	**5,9**	1,3	1,6	0,2	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0			0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	1,4	1,5	0,0	0,0
Waldschutzstreifen 08	1,1	1,1	0,5	0,4	0,0	0,0	0,9	0,8	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1			0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Kleiner Aralsee 08	1,1	1,2	0,6	0,6	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aralsee 08	0,8	0,8	0,8	0,8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2
Waldschutzstreifen II 02	0,7	0,7	2,2	2,1	0,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0
Waldschutzstreifen 02	0,8	0,8	0,9	1,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0			0,1	0,1	0,0	0,0
Aralsee 02	2,8	2,7	**5,2**	**5,5**	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	1,1	1,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4			0,0	0,1
Aralsee 02 II	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2		

Die Einteilung der AOIs beruht, wie bei den Satellitenbildern Malaysia und Aralsee auf der Landnutzung mit der Ausnahme der Ausweisung des Grenzgebietes zwischen China und Kasachstan als eigene Area of Interest. Da unter anderem die Erschließungsstrategie beim Satellitenbildlesen betrachtet werden soll, kann dieses Gebiet, das maßgeblich für die Bildaussage ist, dadurch in den Fokus der Auswertung genommen werden.

Beim Satellitenbild Grenzregion wurden die AOIs: Gebirge Kasachstan 1, Gebirge Kasachstan 2, Landwirtschaft Kasachstan, Ebene Kasachstan 1, Ebene Kasachstan 2, Grenzregion, Landwirtschaft China, Siedlung China definiert.

Abbildung 42: Area of Interest des Satellitenbildes Grenzgebiet Kasachstan/China (Eigener Entwurf)

Abb. 42 zeigt die Verteilung der Aufmerksamkeit durch Angabe der Verweildauer je AOI. Dem *AOI Landwirtschaft China* schenkten die Experten als auch die Schüler die größte Aufmerksamkeit, denn in diesem AOI verweilten beide Gruppen am längsten. Die Verweildauer der übrigen AOIs ist deutlich kürzer. Das AOI *Landwirtschaft China* zeigt viele bewirtschaftete Felder in den unterschiedlichen Vegetationsstadien an und stellt einen starken Kontrast zu der kasachischen Landwirtschaft dar.

Die größten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Verweildauer sind bei den *AOIs Grenzstreifen* und *Siedlung China* am größten. Die Experten betrachteten deutlich länger das *AOI Grenzstreifen* mit 4.342,1 ms (sd= 3.033,35 ms) im Vergleich zu den Schülern, die in diesem Interessensbereich nur 1.897,1 ms (sd = 1.009,6 ms) im Mittel verweilten. Dieser Unterschied wurde mit dem T-Test statistisch untersucht und ist signifikant (p = 0,004). Im *AOI Siedlung China* blieben die Schüler mit 5.089,7 ms (sd = 3.332,8 ms) länger als die Experten mit 3.831,7 ms (sd = 2.774,0 ms). Dieser Unterschied ist statistisch allerdings nicht signifikant.

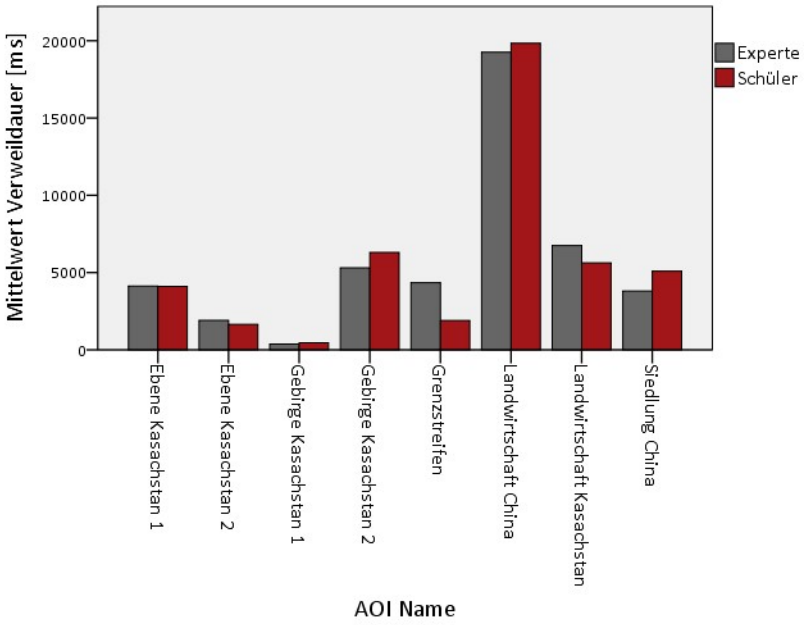


Abbildung 43: Verweildauern gemittelt für das Satellitenbild Grenzregion pro Area of Interest (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Wie bei den beiden vorherigen Auswertungen wird nun auf die Anzahl an Fixationen und die Fixationsdauer pro AOI näher betrachtet. Abb. 44 zeigt die Anzahl der Fixationen je AOI und wieder wird der Unterschied im *AOI Grenzstreifen* deutlich. Die Experten fixieren unverkennbar häufiger in diesem Bereich als die Schüler. Im Mittel fixieren die Experten im Mittel 46-mal, die Schüler 17-mal. Der Unterschied in der Anzahl der Fixationen ist signifikant (p = 0,003) und unterstreicht damit das signifikante Ergebnis für die Verweildauer in diesem AOI. Ebenso ist das *AOI Landwirtschaft* der Bereich mit den häufigsten Fixationen.

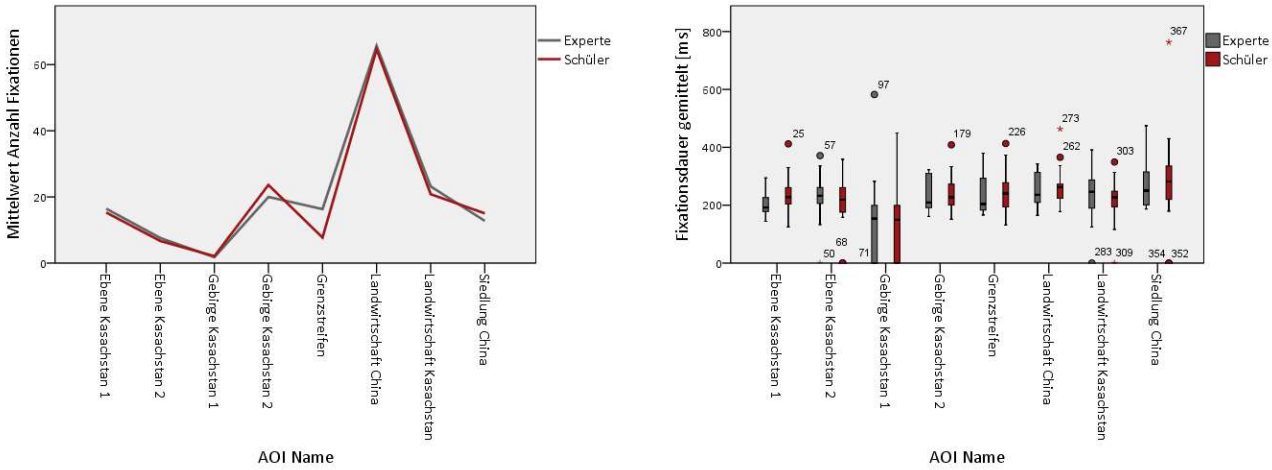


Abbildung 44: Anzahl Fixationen (gemittelt) und die mittlere Fixationsdauer je AOI und Probandengruppe für das Satellitenbild Grenzregion (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Betrachtet man weiter die mittlere Fixationsdauer, so zeigt sich, dass am längsten im *AOI Siedlung* fixiert wurde. Die Experten blickten dort im Mittel 264,0 ms (sd = 76,5 ms) lang auf die Siedlungsstruktur, die Schüler 283,9 ms (sd = 135,9 ms) lang. Im Kontrast dazu steht das AOI mit den geringsten Fixationsdauern, das *AOI Gebirge Kasachstan 1* mit 137,8 ms (sd = 149,3 ms) für die Experten und 130,7 ms (sd = 118,1 ms) für die Schüler. Die hohen Standardabweichungen zeigen das inhomogene Fixationsverhalten innerhalb der Gruppen.

Die Blickübergänge zwischen den einzelnen AOIs werden in Tab. 10 in einer Matrix dargestellt. Vom *AOI Landwirtschaft China*, in dem am häufigsten fixiert wurde (vgl. Abb. 43), gehen die meisten Übergänge in Richtung der *Siedlung China*. 8,9 % der Experten und 10,0 % der Schüler gehen vom AOI der *Landwirtschaft China*, welches durch zahlreiche bewirtschaftete und unbewirtschaftete Felder gekennzeichnet ist in Richtung des Siedlungskonglomerats. In umgekehrter Richtung sind die Prozentzahlen zwischen den Gruppen ähnlich, die Experten wechseln zu 8,4 % und die Schüler zu 10,1 %. Die beiden AOIs liegen nebeneinander, so dass man davon ausgehen kann, dass die Probanden zwischen der Siedlungsstruktur und der landwirtschaftlichen Struktur verglichen haben. Dass beide Gruppen aber auch Beziehungen zwischen voneinander entfernten AOIs herstellen, zeigen die Prozentzahlen der Matrix für die *AOIs Landwirtschaft Kasachstan* und *Landwirtschaft China*. 2,9 % der Experten und 3,2 % der Schüler wechseln von der kasachischen in den Bereich der chinesischen Landwirtschaft. In umgekehrter Richtung wechseln 3 % der Experten und 2,8 % der Schüler. Experten und Schüler wechseln also nicht nur in angrenzende AOIs, sondern gleichen auch auseinanderliegende AOIs miteinander ab.

Der Grenzstreifen ist, wie oben gesehen, stärker von den Experten besucht und fixiert worden. Dementsprechend sind die Prozentangaben der Übergänge der Experten auch höher als die der Schüler. 7 % der Experten und 3,9 % der Schüler wechseln vom AOI „Landwirtschaft China“ zum AOI „Grenzstreifen“. In umgekehrter Richtung sind es 6,5 % der Experten und 3,5 % der Schüler. Aus diesem AOI heraus in das kasachische Gebiet gibt es

bedeutend weniger Übergänge. Beispielsweise sind es in das angrenzende AOI „Ebene Kasachstan 1“ nur 2 % der Experten und 1,7 % der Schüler.

Tabelle 10: Transition Matrix für das Satellitenbild Grenzregion (Experten n=18; Schüler Experten n=29) (Eigener Entwurf)

von zu (Übergange Experte/ Übergänge Schüler in %)	Landwirtschaft China		Gebirge Kasachstan 1		Gebirge Kasachstan 2		Ebene Kasachstan 1		Ebene Kasachstan 2		Landwirtschaft Kasachstan		Grenzstreifen		Siedlung China	
Landwirtschaft China			0,2	0,2	2,8	3,7	2,5	2,2	1,7	2,5	3,0	2,8	**7,0**	**3,9**	**8,9**	**10,0**
Gebirge Kasachstan 1	0,4	0,1			0,2	0,4	0,0	0,2	0,2	0,0	1,3	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0
Gebirge Kasachstan 2	3,5	5,3	0,3	0,5			3,3	5,2	1,7	2,0	**4,0**	**5,0**	1,9	1,3	0,9	0,3
Ebene Kasachstan 1	2,5	2,1	0,0	0,1	3,9	5,7			0,3	0,3	0,9	1,0	1,5	1,2	0,3	0,3
Ebene Kasachstan 2	2,6	2,1	0,1	0,0	0,9	1,7	0,2	0,3			2,9	2,8	1,9	1,0	0,1	0,1
Landwirtschaft Kasachstan	2,9	3,2	1,5	1,7	**5,4**	**5,5**	1,2	1,1	2,4	1,8			0,5	0,5	0,1	0,3
Grenzstreifen	**6,5**	**3,5**	0,0	0,0	1,3	1,2	2,0	1,7	2,1	1,1	1,5	0,6			0,2	0,3
Siedlung China	**8,4**	**10,1**	0,0	0,0	0,8	0,7	0,4	0,4	0,0	0,1	0,2	0,0	0,6	0,3		

Die Auswertung der Blickparameter für bestimmte Area of Interests, die auf Grundlage der Landnutzung festgelegt wurden, zeigt viele Parallelen zwischen den beiden Gruppen und ihrem Blickverhalten. So betrachten beide Gruppen viele der definierten AOIs in gleicher Quantität. Deutliche Unterschiede lagen in einzelnen AOIs, wie beim Satellitenbild Grenzstreifen im *AOI Grenzgebiet* und im *AOI Plantage 3* beim Satellitenbild Malaysia. Beim Bildvergleich des Satellitenbildes Aralsee verweilen die Schüler im Bild von 2002 bis auf eine Ausnahme in allen AOIs länger und zeigen damit eine starke Tendenz zu einem Bild. Aus der Auswertung der Übergangsmatrizen geht hervor, dass beide Gruppen Beziehungen sowohl zwischen naheliegenden AOIs als auch voneinander entfernten AOIs herstellen.

6.3.4 Verhältnis globaler zu lokalen Sakkaden – der Scanpath ratio

Durch die Ermittlung des Scanpath ratio, dem Verhältnis zwischen globalen und lokalen Sakkaden, erhält man einen Indikator um professionelle versus ungeübte Leser voneinander zu unterscheiden (Goldberg & Kotval 1999). Unter globalen Sakkaden sind solche zu fassen,

die oberhalb eines zuvor festgelegten Schwellenwertes liegen. Alle übrigen sind lokale Sakkaden. Zangemeister et. al (1995) geben 1,6°, 4,6°, 7,9° und 11° als mögliche Schwellenwerte an. Für diese Untersuchung wurde die Trennlinie bei 1,6° gewählt, angelehnt an die Untersuchung von Zangemeister (1995) zur Betrachtung realistischer und abstrakter Kunst. Ein höherer Scanpath ratio deutet auf eine höhere Suchaktivität hin und kann ein Indiz für die Anwendung von mehr Top-down Strategien beim Betrachten des Satellitenbildes sein.

Der Scanpath ratio wurde auf Grundlage der Sakkaden von 18 Experten und 29 Schülern berechnet. Ausgeschlossen sind VP_12, VP_27_S und VP_30_S aufgrund mangelnder Aufzeichnungsquote. Insgesamt standen für das Satellitenbild Malaysia 4.656 Daten, für das Satellitenbild Aralsee 4.860 Daten und für das Satellitenbild Grenzregion 4.677 für je beide Gruppen zur Verfügung.

Die Häufigkeitsverteilung der Sakkaden-Amplitude für das Satellitenbild Malaysia ist in Abbildung 45 je Gruppe dargestellt. Als Maß der zentralen Tendenz wurde der Median gewählt, dieser liegt bei den Experten bei 3,1° und den Schülern bei 3,0°. Der Median weist darauf hin, dass die Schüler mehr lokale Sakkaden zeigen.

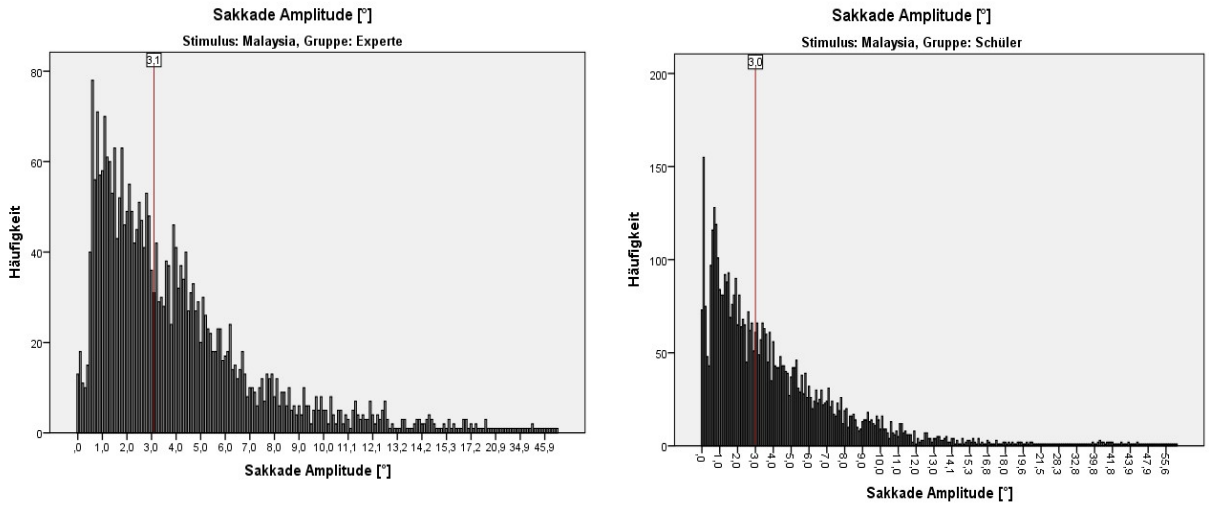


Abbildung 45: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Anschließend wurde der Quotient aus globalen und lokalen Sakkaden bei einem Schwellenwert von 1,6° gebildet. In Tabelle 11 ist die Anzahl an globalen und lokalen Sakkaden dargestellt, die je Satellitenbild für die Berechnung des Quotienten herangezogen wurden. Die Experten haben einen Scanpath ratio von 2,78 und die Schüler von 2,13. Erwartungsgemäß liegt das Ergebnis der professionellen Leser über dem der Novizen und kann ein Beleg für einen unterschiedlichen Kompetenzlevel der beiden Gruppen sein.

Tabelle 11: Scanpath ratio für das Satellitenbild Malaysia (Eigener Entwurf)

Scanpath ratio (1,6°)	Gruppe	Anzahl globale Sakkaden (g)	Anzahl lokale Sakkaden (l)	Verhältnis g/l
Malaysia	Experte	2029	729	**2,78**
	Schüler	3172	1484	**2,13**

Auch für das Satellitenbild Aralsee zeigt die Häufigkeitsverteilung der Sakkaden-Amplituden, dass die Schüler mehr Sakkaden mit kürzerer Amplitudenlänge aufweisen als die Experten. Der Median liegt dementsprechend für die Experten bei 3,2° und bei den Schülern bei 3,1°.

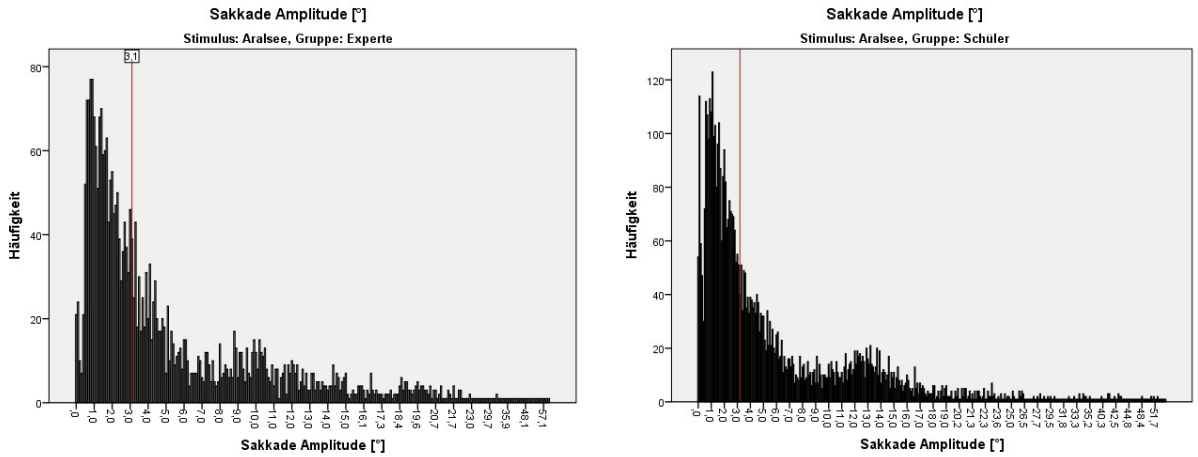


Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Der Scanpath ratio für das Satellitenbild Aralsee wurde aus 2.804 Sakkaden der Experten und 4.860 Sakkaden der Schüler errechnet. Auch hier liegt der Scanpath ratio der Schüler von 2,37 wiederholt niedriger als bei den Experten mit 2,56. Dem Ergebnis entsprechend kann man festhalten, dass die Experten im Verhältnis mehr globale als lokale Sakkaden zeigen.

Tabelle 12: Scanpath ratio für das Satellitenbild Aralsee (Eigener Entwurf)

Scanpath ratio (1,6°)	Gruppe	Anzahl globale Sakkaden (g)	Anzahl lokale Sakkaden (l)	Verhältnis g/l
Aralsee	Experte	2018	786	**2,56**
	Schüler	3421	1439	**2,37**

Und zuletzt wird in Abbildung 47 die Häufigkeitsverteilung der Sakkaden-Amplituden beider Gruppen für das Satellitenbild Grenzregion dargestellt. Auch hier zeigt sich, wie bei den beiden oberen Darstellungen, dass der Median bei den Experten höher als bei den Schülern liegt und sie auch in diesem Bild mehr an kürzeren Sakkaden zeigen als die Experten. Der Median für die Experten liegt bei 3,3° und bei den Schülern bei einem Wert von 3,4°.

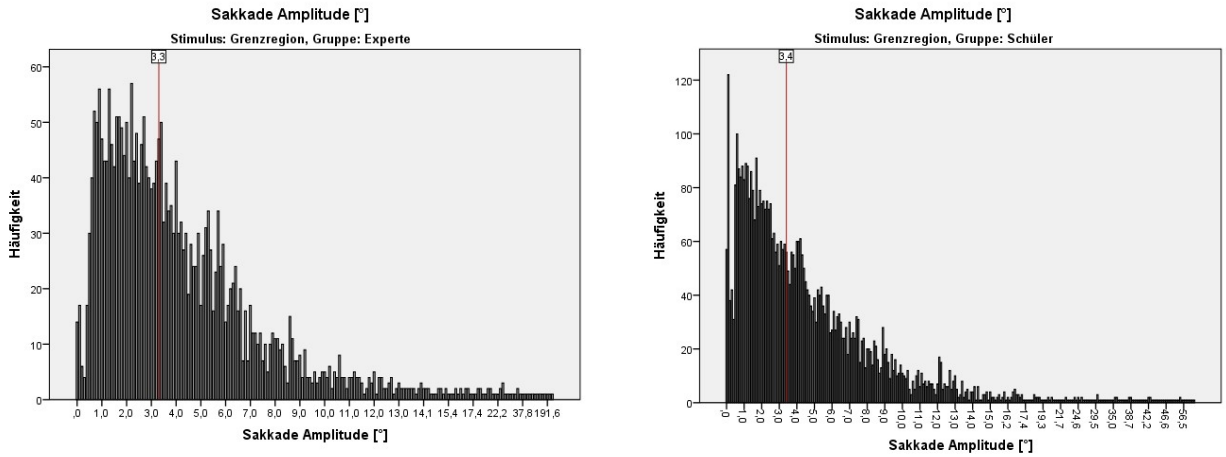


Abbildung 47: Häufigkeitsverteilung und Median (rote Linie) der Sakkaden-Amplituden für das Satellitenbild Malaysia je Gruppe (Experten n=18; Schüler n=29) (Eigener Entwurf)

Der Scanpath ratio für dieses Satellitenbild liegt ebenso wie bei den beiden oberen Auswertungen für die Experten über dem der Schüler. Die Experten erzielen bei einem Verhältnis von 2.048 globalen Sakkaden zu 550 lokalen Sakkaden einen Quotienten von 3,72. Die Schüler haben dagegen bei 3.481 globalen Sakkaden und 1.196 lokalen Sakkaden einen niedrigeren Quotienten von 2,92.

Tabelle 13: Scanpath ratio für das Satellitenbild Grenzregion (Eigener Entwurf)

Scanpath ratio (1,6°)	Gruppe	Anzahl globale Sakkaden (g)	Anzahl lokale Sakkaden (l)	Verhältnis g/l
Grenzregion	Experte	2048	550	**3,72**
	Schüler	3481	1196	**2,92**

Die Auswertung des Scanpath ratio für alle Stimuli ergibt, dass der Quotient aus globalen zu lokalen Sakkaden bei den Experten durchweg höher ist als bei den Schülern. Die Gruppe der

Experten zeigt demnach mehr globale Sakkaden im Verhältnis zu lokalen Sakkaden. Bei den Schülern ist dies genau umgekehrt vorzufinden. Ein höherer Scanpath ratio deutet auf eine höhere Suchaktivität hin und kann ein Indiz für die Anwendung von mehr Top-down Strategien beim Betrachten des Satellitenbildes sein (Holmquist, 2011).

6.3.5 Suchen versus Verarbeiten – das Verhältnis der Sakkaden- zur Fixationsdauer

Das Verhältnis der Sakkaden- zur Fixationsdauer ist ebenso wie das Verhältnis globaler zu lokaler Sakkaden, ein inhaltsunabhängiger Parameter. Er steht für den Vergleich der aufgebrachten Zeit für die tiefe kognitive Verarbeitung zur verwendeten Zeit für Suchprozesse (Goldberg & Kotval, 1999; Geise, 2011; Holmquist, 2011). Der Quotient beschreibt damit das Verhältnis zwischen der Zeit in der Information aufgenommen werden (Fixationen) zu der Zeit in denen keine Informationsaufnahme möglich ist (Sakkaden).

Tabelle 14: Verhältnis der Sakkadenlänge zur Fixationslänge von allen Satellitenbildern (Eigener Entwurf)

Sakkaden-/Fixationsdauer	Gruppe	Mittlere Dauer Fixationen (f)	Mittlere Dauer Sakkaden (s)	Verhältnis s/f
Malaysia	Experte	261,12	8,64	**0,28**
	Schüler	247,17	27,6	**0,35**
Aralsee	Experte	233,75	77,4	**0,33**
	Schüler	237,97	87,99	**0,37**
Grenzregion	Experte	245,44	73,16	**0,30**
	Schüler	251,27	86,49	**0,34**

Wie in Tab. 14 zu sehen haben die Experten durchweg einen niedrigeren Quotienten. Das bedeutet, dass sie mehr Zeit für die Informationsaufnahme verwenden als die Schüler. Den Ergebnissen zufolge zeigen die Schüler mehr sakkadische Augenbewegungen, in denen keine Information aufgenommen wird, aber als Vorbereitung für nachfolgende Fixationen steht.

6.4 Laut Denken-Protokolle

Die Probanden wurden im Anschluss an die Blickaufzeichnung aufgefordert ihre Blickverläufe, die auf dem Bildschirm gezeigt wurden, sowie die Gedanken dazu zu verbalisieren. Die Eye Tracking Software zeichnete die Äußerungen auf, die anschließend mit der Transkriptionssoftware MAXQDA verschriftlicht wurden.

Die Laut Denken-Protokolle liegen von 19 Experten und 13 Schülern vor. Aufgrund eines Programmfehlers der Eye Tracking-Software sind einige Audiodateien nicht korrekt aufgezeichnet. Alle übrigen Tonspuren waren fehlerfrei und sind dementsprechend in die Auswertung eingeflossen.

Zur Strukturierung der Aussagen dient ein Codierschema, dass sich an den einzelnen Analyseschritten orientiert, die beim Satellitenbildlesen erforderlich sind. Es handelt sich um folgende Einteilung: Elemente und deren Bedeutung erkennen und beschreiben, Grobstrukturen erkennen und beschreiben, räumliche und zeitliche Einordnung sowie das Herstellen von Zusammenhängen (Albertz 2007; Breitbach, 1996; Gerber W. R., 2005; Menz & Siegmund, 2005).

Tabelle 15: Codierschema der Laut Denken-Protokolle (eigene Zusammenstellung auf Grundlage von Kollar 2012)

Schritte der visuellen Analyse von Satellitenbildern	**Objekte/Elemente** (z. B. Tagebau, Fluss) und deren Bedeutung erkennen und beschreiben
	Grobstrukturen (z. B. Siedlung, Waldgebiete) erkennen und beschreiben
	Räumliche und **zeitliche Einordnung**
	Herstellen von **Zusammenhängen**

Von Interesse waren vor allem zusammenhängende Gedankengänge und nicht die einzelnen Begriffe. Die Aussagen bei der Laut Denken-Methode sind spontan und verlaufen parallel zur Darbietung der Blickbewegungen (als Video), dabei entstehen oft unvollständige Sätze und auch der Satzbau ist oftmals nicht korrekt.

Die Aussagen der Schüler zeigen, dass es die Farbe und die groben Strukturen sind, die bereits zu Beginn der Bildbetrachtung wesentlich für die Aufmerksamkeitssteuerung ist und dem Betrachter Orientierung geben. Dies wird durch die folgenden Aussagen deutlich:

> **VP_15_Schüler (Satellitenbild Aralsee):** *„da sind mir zuerst mal die Farben aufgefallen, dass das Linke viel kräftiger war als das Rechte und dann ist mir die Größe aufgefallen*

bei dem Mittleren also von dem (-) großen See und dann habe ich also noch so generell die zwei verglichen auch so von der Farbe her ob das nur den See betrifft die Farbe"

VP_27_Schüler (Satellitenbild Aralsee): *„also die Farbe war so eins der wichtigsten Kriterien bei mir also was mir sofort aufgefallen ist"*

VP_27_Schüler (Satellitenbild Grenzregion): *„genau als erstes natürlich die grünen Flächen"*

VP_24_Schüler (Satellitenbild Aralsee): *„Also zunächst habe ich verglichen das deutlichste war natürlich, dass das Grün auf dem rechten Bild alles weg ist"*

VL: „*Welche Bildelemente sind dir da besonders ins Auge gesprungen"*

VP_26_Schüler (Satellitenbild Grenzregion): „*Ach dieses Chaos hier"*

Der Beginn einer systematischen Analyse eines Satellitenbildes beginnt laut verschiedener Autoren mit der Beschreibung und der Identifikation einzelner Elemente. Diese werden erkannt, benannt und umschrieben. Grundsätzlich lassen sich drei Grundtypen an Elementen unterscheiden: flächige Objekte (z. B. Wald und Gewässer), linienförmige Elemente (z. B. Straßen, Flüsse) und punkthafte Objekte (z. B. Häuser, Tagebaue) (Kollar 2013). Wie bereits in Kap. 4.4 beschrieben, laufen der Erkennungsprozess und die Interpretation nicht getrennt voneinander ab, sondern sie vollziehen sich meistens gemeinsam (Gerber & Reuschenbach, 2005; Kollar, 2012; Siegmund & Menz, 2005).

Nachstehend werden Zitate von Probanden aufgeführt, die flächige Bildelemente beschreiben und interpretieren. Zu den flächigen Bildelementen zählen Felder, Siedlungen, Seeflächen, Plantagen und landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie weitere.

VP_03_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„Erstmal fällt auf die sehr akkurat angeordneten Pflanzen (-) im mittleren Teil des Bildes scheinbar natürliche (.) Waldfläche"*

VP_06_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„und hier in der Gegend dann festgestellt das noch Wald vorhanden ist (.) und hier unten eben auch und hier in dem Bereich jetzt Kautschuk-Plantagen sind schon angelegte"*

VP_03_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„noch so ne Art Schwemmfächer"*

Ein Beispiel für die Wahrnehmung und Interpretation der feineren Strukturen von Flächenelementen sind die Aussagen von VP_15_S. Anhand der Struktur wurden die einzelnen Waldflächen, die jeweils eine andere Landnutzung präsentieren, voneinander unterschieden.

VP_15_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„Da ist mir zuerst das in der Mitte aufgefallen, dass da so eine ganz gerade Trennung zwischen so glattes ganze ebenes und so (.) ich fand das sah schon wieder so aus wie ein Wald finde ich und dann ist mir da unten aufgefallen, dass da so ein bisschen (.) dreidimensional aus"*

VL: *„aha das hier das da unten (zeigt auf Plantage)"*

VP_15_Schüler: *„ja das da"*

Die Zitate von VP_15_S zeigen recht eindrücklich, dass auch die unterschiedlich feinen Strukturen wahrgenommen werden, auch wenn sie von diesem Probanden aus der Schülergruppe nicht mit dem korrekten Begriff betitelt werden können. Wie bereits zu Beginn angemerkt, spielt die Farbe der Elemente nicht nur eine große Rolle bei der Orientierung innerhalb des Bildes, sondern auch bei der Bildinterpretation.

VP_06_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„eben im nördlichen Bereich dann die großen Grünflächen"*

VP_31_Schüler (Satellitenbild Grenzregion): *„um die Stadt herum dunkelgrün und die landwirtschaftlichen Anlagen im Berggebiet relativ grau"*

Die Probanden richteten ihre Aufmerksamkeit auch auf einige linienförmige Elemente, denn in den Laut Denken-Protokollen äußerten sie sich zur Infrastruktur sowie der markanten Grenzregion. Wie bereits in den Heat maps des Satellitenbildes Malaysia zu sehen (vgl. Kap. 6.3.2), sind viele Bereiche mit einer langen Verweildauer an linienhaften Elementen zu finden. Vor allem die Experten verweilten an diesen Elementen länger im Vergleich zu flächigen Bildelementen, wie den Waldflächen und Feldern.

VP_03_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„auf jeden Fall die stark kontrastreiche Grenze"*

VP_15_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„da habe ich zuerst mal die geradlinigen Straßen angeschaut und das Waldgebiet unten links wie so ein gepunktetes Noppenmuster"*

VP_31_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„den Regenwald unten und hier diese großen Straßen durch den Regenwald"*

Durch eine Identifikation der groben Strukturen und einer Beschreibung der Teilbereiche kann mit einer genaueren Analyse der räumlichen Strukturen begonnen werden. Die Beschreibung der Strukturen erfolgte meist anhand von Vergleichen zwischen zwei unterschiedlichen Räumen.

VP_01_Schüler (Satellitenbild Grenzregion): *„Und dann gab es noch diese Stadt und dass sie im Vergleich zu den Feldern eher sehr klein ist"*

VP_02_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„links bisschen unordentlich aber auch*

Monokulturcharakter und rechts ziemlich ordentlich mit den Wegen (.) dazwischen und dann eben links auch noch so die ursprüngliche Vegetation erhalten vermutlich der Wald der nach und nach wohl zurück (-) wandern muss äh ja (.) die klare Struktur rechts war schon sehr markant"

VP_03_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„da habe ich gemerkt, dass die Struktur sozusagen anders war die war nicht überall gleich das war immer was Verschiedenes"*

VP_06_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„eben starke landwirtschaftliche Prägung ähm erkennbar ist vor allem in dem rechten Bereich hier auch die Siedlungsstruktur also das urbane Zentrum"*

VP_19_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„das Relief des linken Teils ja doch recht ausgeprägtes Relief ist"*

Den Versuch die Satellitenbildszene räumlich einzuordnen unternahmen vornehmlich die Experten.

VP_16_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„hm ja also weil das jetzt noch relativ geballt ist und nicht so zersiedelt aussah dachte ich gut das ist in Europa"*

VP_06_Experte (Satellitenbild Aralsee): *„Wüste und so das muss ja irgendwie in Trockengebieten sein"*

VP_04_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„die hat die Form wie Berlin ungefähr aber ich glaube nicht das es Berlin ist"*

Die Bildinterpretation vollzieht sich mit der Analyse der räumlichen Verteilung der Objekte sowie ihrer Zusammenhänge und Abhängigkeiten. Hierbei werden Rückschlüsse auf nicht direkt Erkennbares gezogen, wie zum Beispiel auf landschaftsverändernde Prozesse oder der Landschaftsgenese (Kollar 2013). Die Probanden äußerten sich wie folgt über die räumliche Verteilung der Bildobjekte:

VP_01_Schüler (Satellitenbild Aralsee): *„Und dann beim oberen Teil habe ich gemerkt, dass es auf der rechten Seite also oben auch beim rechten Bild mehr Wasser gibt als oben beim rechten Bild auf der linken Seite"*

VP_06_Experte (Satellitenbild Grenzregion): *„eben starke landwirtschaftliche Prägung ähm erkennbar ist vor allem in dem rechten Bereich hier auch die Siedlungsstruktur also das urbane Zentrum eben im nördlichen Bereich dann die großen Grünflächen"*

Zur Bildinterpretation gehört auch das Herstellen von Zusammenhängen zwischen den Bildobjekten. VP_01 beschreibt die Salzpfannen am Rande des Sees, die sich durch den sinkenden Wasserspiegel ablagern und erklärt damit die Ursache für die sichtbaren Veränderungen im Satellitenbild.

> **VP_01_Experte (Satellitenbild Aralsee):** *„wir sehen am Rand des äh zentralen Sees das der eben sehr flach ist, weil er eben sehr relativ grün ist und rechts sieht man dann eben auch schon die Salzpfannen die entstehen durch das Austrocknen des äh Wassers“*

Die oben angesprochenen Rückschlüsse auf nicht direkt Erkennbares, das systemisches Denken erfordert, werden an folgenden Aussagen sichtbar. VP_03 schließt aufgrund der unterschiedlichen Färbung der Felder im rechten Bildteil im Satellitenbild Grenzregion im Gegensatz zu den Felder auf der kasachischen Seite, dass sie bewässert sind.

> **VP_03_Experte (Satellitenbild Grenzregion):** *„links das Siedlungsgebiet und dann scheinbar bewässerte Landwirtschaftsflächen“*

Die Rückschlüsse sind allerdings nicht immer fachlich korrekt, bilden aber die mentalen Modelle der Probanden sehr gut ab. Mentale Modelle sind gekennzeichnet dadurch, dass sie nicht fachlich korrekt sein müssen.

> **VP_25_Schüler (Satellitenbild Grenzregion): „**Äh vielleicht durch äh (.) weil da der Berg endet durch irgendwelche Erdrutsche oder so“

Die Strategie von VP_01 und VP_18 steht für das Sammeln von einzelnen Beobachtungen, die als Ganzes zu einer schlüssigen Bildinterpretation führt. Hier ist es die Beantwortung der Frage, ob es eine natürliche oder politische Linie zwischen zwei Staaten ist. Die Summe der Details bildet das Gesamtbild. Dieses Vorgehen ist datenbasiert, daher kann man von einer Bottom-up Verarbeitungsstrategie sprechen.

> **VP_01_Experte (Satellitenbild Grenzregion):** *„außerdem es sehr geradlinig ist habe ich eben geschlossen, dass es eine politische Grenze sein muss zwischen zwei Ländern oder so (.)“*

> **VP_18_Experte (Satellitenbild Grenzregion):** *„also, weil der linke Bereich ganz anders ist als der rechte Bereich und da dachte ich entweder ist es eine natürliche Grenze die das irgendwie hergibt das man rechts Ackerbau betreiben kann so wie das da aussieht und links eben durch gebirgsähnliche Formen nicht oder ist es eben eine Staatsgrenze das die da auf der rechten Seite können was anbauen und da links wohnt vielleicht garkeiner“*

Neben der Bottom-up Verarbeitungsstrategie sind außerdem durch die Laut Denken-Protokolle Top-down Prozesse zu beobachten. Bei dieser Verarbeitungsstrategie werden die Blicke strategisch auf Bereiche gelenkt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die relevante Information erhalten. VP_06 sucht bspw. nach den Zuläufen des Sees, um evtl. dort Veränderungen ablesen zu können (z. B. einem Staudamm).

> **VP_06_Experte (Satellitenbild Aralsee):** *„dann geschaut wo denn die Zuläufe auch (.) letzten Endes bei dem See sind“*

VP_15_Experte (Satellitenbild Aralsee): *„zum Beispiel ob man jetzt wirklich sehen kann ob Siedlungsflächen verschwunden sind weil die Menschen abgewandert sind“*

Am Laut Denken-Protokoll von VP_29_S, einem Probanden aus der Schülergruppe, wird deutlich, dass er sich die Waldfläche sehr genau anschaut und die darauf befindlichen Bäume auch als solche erkennen. Unklar sind jedoch die „Linien“, die nicht von ihm als Wege identifiziert werden, obwohl bei einem Schüler der 10. Klasse davon ausgegangen werden kann, dass er die Struktur eines Waldes kennt. Das Nicht-Erkennen des Bildelementes, obwohl die Umgebung beschrieben werden kann, repräsentiert die Bottom-up Verarbeitungsstrategie. Der Proband greift nicht auf konzeptionelles Wissen zurück und verharrt auf der datenbasierten Ebene.

VP_29_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„ja ich weiß nicht was das sein soll“ (Blick ist auf den Linien)*

VL: *„ähm diese Linien?“*

VP_29_Schüler: *„ja“*

VL*: „ok“*

VP_29_Schüler: *„habe ich mich glaube ich auch lange aufgehalten“*

VL: *„um rauszufinden was es ist“*

VP_29_Schüler: *„ja ich kam aber nicht drauf“*

VL*: „ok“*

(..)

VP_29_Schüler: *„ja gut da habe ich mir nochmal die Landwirtschaft und die Bäume angeschaut“*

VL*: „Was das andere war, war für dich verständlich?“*

VP_29_Schüler: *„Das andere das da“*

VL: *„das grüne in dem Bild jetzt“*

VP_29_Schüler: *„das da“*

VL*: „ja“*

VP_29_Schüler: *„Das waren doch Bäume“*

VL: *„genau“*

VP_29_Schüler: *„Das war mir dann ziemlich klar deshalb habe ich mich auf den Linien festgehalten(.)*

Was sind das diese Linien?

VL: *„Das waren Wege“*

Der Top-Down Prozess kann ausgelöst werden, wenn bekannte Reize oder auch Objekte im passenden Zusammenhang stehen. VP_11 verfolgt eine Straße auf dem Satellitenbild Malaysia. Da ebenso ein Fluss auf dem Satellitenbild zu sehen ist, überprüft der Proband, ob es Brücken gibt und die Waldgebiete dementsprechend gut erschlossen sind. Dabei entdeckt er natürliche Waldflächen, die durch das Straßennetz zugänglich gemacht werden und dadurch zukünftig bewirtschaftet werden können.

VP_11_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„Jetzt folge ich dem Fluss, der sich da durchs Gebiet zieht zur Überprüfung ob die Straßen da über Brücken gehen dann habe ich da gesehen, dass das andere Gebiet ein ein weitgehend natürlich bewaldetes Gebiet ist”*

Ein weiterer Top-down Prozess wird bei VP_13 sichtbar, der sich die Szene Malaysia anschaut und aufgrund der künstlichen Wege nach weiteren Anzeichen anthropogenen Einflusses in dem Waldgebiet sucht.

VP_13_Experte (Satellitenbild Malaysia): *„Da sind mir natürlich gleich diese künstlichen Wege aufgefallen bin die Wege mal abgegangen und (habe sie: MH) angeschaut und habe da links wo ich jetzt gucke da ist noch ein intakter Wald dann eine Aufforstung ähm und habe halt entlang der Wege immer wieder geguckt sehe ich eine größere Fabrikhalle oder großes Sägewerk oder irgendsowas“*

Diese Verarbeitungsstrategie äußerten allerdings nur die Experten, daher stellt die Autorin die These auf, dass sich ein elaborierter Satellitenbild-Leser durch die häufigere Anwendung von Top-Down Verarbeitungsstrategien von einem weniger routinierten Leser (in diesem Fall die Gruppe der Schüler) unterscheidet.

Wie in Kap. 4.5 bereits beschrieben gibt es zwangsläufig Schwierigkeiten beim Lesen und Deuten von Satellitenbildern, die auch durch die postaktionalen Äußerungen der Probanden deutlich wurden. Für einige Schüler war es schwierig die entdeckten Elemente zu benennen und einzuordnen.

VP_02_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„und was sollen eigentlich diese Linien da?“*
VL*: „das sind Straßen oder Wege“*

Wenn sie für sich eine Erklärung gefunden haben, fehlt vor allem den Schülern häufig die Rückkopplung, dass ihre Entdeckung inhaltlich korrekt ist.

VP_01_Schüler (Satellitenbild Malaysia): *„Ah und dann waren unten links die kleinen Punkte ich war mir nicht sicher was es sein könnte erst dachte ich an Bäume“*

Der Schritt die bildlichen Elemente in Beziehung zu setzen ist für einige Schüler herausfordernd und sie bleiben meist auf der Stufe des Erkennens stehen. Dies ist allerdings nicht verwunderlich, da sie zum einen nicht die Übung in der Interpretation von

Satellitenbildern haben und auch keine Zusatzinformationen in Form von Texten oder weiteren Daten bekamen, die mögliche Zusammenhänge hätten erklären können.

> ***VP_04_Schüler (Satellitenbild Aralsee):*** *„und dann habe ich den oberen verglichen und konnte da keine Unterschiede erkennen, sondern ganz im Gegenteil da war dann diese eine Stelle da ist es ein bisschen mehr geworden"*
>
> ***VL:*** *„genau gut erkannt (.) super (.) oben der Zipfel"*
>
> ***VP_04_Schüler: „****unten ist dann halt weg und oben war dann viel mehr da"*
>
> ***VP_04_Schüler (Satellitenbild Malaysia):*** *„und dann ähm habe ich versucht (.) also das ist mir immer noch nicht so ganz klar ob das eine klare Trennung zwischen Wüste und Wald war"*

Durch die postaktionalen Äußerungen der Probandengruppen zu den jeweiligen Blickbewegungen erhält man neben den datenbasierten Blickbewegungsparametern einen qualitativen Zugang in die kognitiven Prozesse der Probanden beim Lesen von Satellitenbildern. Es wird deutlich, dass zu Beginn der Betrachtungszeit die Farbe und die groben Strukturen maßgeblich für die Orientierung im Bild sind. In dieser Phase fallen den Probanden, vornehmlich geäußert durch die Schüler, farbliche Unterschiede oder besondere Farb-Highlights sowie strukturelle Gegebenheiten auf. Folgend werden die einzelnen Elemente tiefergehend betrachtet und im Laut Denken-Protokoll verbalisiert. Insbesondere fehlt den Schülern das Feedback, ob ihre Interpretation auch fachlich korrekt ist.

Beide Gruppen richten ihre Aufmerksamkeit aber auch auf feinere Strukturen (z. B. Oberflächenbeschaffenheit, Anordnungen im Raum) und versuchen sie zu analysieren. Die Identifikation von Elementen und Bereichen verläuft bei beiden Gruppen vielmals durch den Abgleich hinsichtlich von Form- und Strukturmerkmalen zu anderen Bildbereichen. Durch das Vorwissen, das die Experten mitbringen, gelingt es ihnen auch wesentlich öfter Zusammenhänge zwischen Bildelementen herzustellen. Bei der Bildbetrachtung gehen die Experten daher oftmals wissensbasiert, bzw. theoriebasiert vor und suchen förmlich nach der Bestätigung ihrer zuvor aufgestellten Annahme. Durch die Äußerungen der Experten wird die Top-Down-Verarbeitungsstrategie deutlich. Die Schülergruppe liefert indes Indizien, dass sie eher eine Bottom-up Strategie verfolgen und reizbasiert vorgehen.

7 Beantwortung der Forschungsfragen

Die Forschungsfragen wurden auf Grundlage des aktuellen Forschungsstandes formuliert und sollen Blickbewegungsmuster und -verhalten von Experten und Schülern beim Rezipieren von Satellitenbildern aufzeigen. Die beiden Gruppen unterschieden sich stark in der Häufigkeit der Nutzung von Satellitenbildern im beruflichen, bzw. schulischen Kontext. Die Expertengruppe nutzt Satellitenbildern in ihrem beruflichen Kontext signifikant häufiger ($\text{Median}_{\text{Experten}}$ = 2,5, niedrige Werte stehen für eine häufigere Nutzung) als die Schüler ($\text{Median}_{\text{Schüler}}$ = 4,0; exakter Mann-Whitney-*U*-Test: p = .004). Die gleiche Aussage gilt auch für die Nutzung von Satellitenbildern im Privaten ($\text{Median}_{\text{Experten}}$ = 2,0; $\text{Median}_{\text{Schüler}}$ = 4,0; exakter Mann-Whitney-*U*-Test: p = .000). Die beiden Gruppen unterscheiden sich also deutlich hinsichtlich der Nutzung von Satellitenbildern im privaten als auch dem schulisch-beruflichen Kontext (vgl. Kap. 6.2). Die methodische Überlegung bei der Auswahl der Gruppen ist, ein möglichst weites Spektrum an Expertise im Lesen von Satellitenbildern zu haben, um mögliche Unterschiede aufzuspüren.

7.1 Selektionsstrategien von Schülern und Experten beim Lesen von Satellitenbildern

Wie verteilt sich die visuelle Aufmerksamkeit der Probanden über die verschiedenen Satellitenbilder?

Welche Bereiche und Bildelemente einer Satellitenbildszene werden bei Experten und Schülern am längsten fixiert?

Die erste Forschungsfrage geht der Aufmerksamkeitsverteilung nach, also welche Bildelemente die Aufmerksamkeit der Probanden auf sich ziehen. Da das Bild nie im Ganzen erfasst werden kann, muss der Betrachter sich auf die für ihn wichtigen Bereiche beschränken.

Um die Frage nach der räumlichen Verteilung der Aufmerksamkeit beantworten zu können, wurden Heat maps für alle Bilder erstellt und ausgewertet (vgl. Kap. 6.3.2). Sie präsentieren die Dauer der Fixationen und ermöglichen zugleich die räumliche Zuordnung der visuellen Aufmerksamkeit. Weiterhin stützt sich diese Arbeit auf das Verfahren der Gridded AOIs, das die Verweildauer je Rasterzelle angibt und ebenso wie die Heat maps die Allokation der Probanden anzeigt. Der Unterschied zwischen den Heat maps und den Gridded AOIs ist, dass bei den Gridded AOIs die Sakkaden- und die Fixationszeit summiert dargestellt sind.

Anhand der Heat maps werden die Hot spots, also die Bereiche die besonders lange von den Probanden betrachtet wurden, sichtbar. Nach Rayner sind es genau diese, die den Rezipienten besonders bedeutsam sind (Rayner, 2009). Auffällig ist, dass sich die Hot spots zwischen den beiden Gruppen deutlich in der Anzahl und einige auch in der Lage unterscheiden. Beispielsweise fixieren die Schüler das Grenzgebiet zwischen Kasachstan kaum, obwohl dieses Bildelement relevant für die Bildaussage ist. Den Grenzstreifen fixierten die Schüler 100 - 120 ms, also bedeutend kürzer als die Experten mit 220 - 240 ms (vgl. Abb. 27).

Mit besonderer Aufmerksamkeit fokussieren die Schüler visuell hervorstechende Bildelemente wie einzelne Bäume oder Berggipfel, die zwar nicht ausschlaggebend für die Bildaussage sind, aber sehr auffällig. Zudem ist anhand des Satellitenbildes Malaysia eine deutliche Fokussierung der Schüler auf die Bildmitte zu sehen. Das Gridded AOI für die gemittelte Verweildauer der Experten belegt die Annahme, dass die Schüler beim Satellitenbild Malaysia sich stark auf die Bildmitte konzentrieren sehr anschaulich. Die Experten verbringen 72,73 % ihrer gesamten Verweildauer im äußeren Bereichen (bis zur 3. Reihe), während die Schülergruppe nur 45,31 % im äußeren Bereich verweilt.

Beide Gruppen haben aber auch Ähnlichkeiten in ihrem Blickverhalten, denn sowohl die Schüler als auch die Experten fixieren besonders lange strukturierende Elemente, wie beispielsweise Flüsse oder Wege. Die beobachtete Aufmerksamkeitsverteilung wird durch die Äußerungen der Probanden aus den Laut Denken-Protokollen bestätigt. Die Probanden geben an, dass die Struktur und die Farbe maßgeblich ihren Blick lenkte (vgl. Kap. 6.4).

Zusammenfassend lässt sich die Aussage treffen, dass sich die Aufmerksamkeit zwischen den beiden Gruppen in den Aspekten: Anzahl und räumlicher Verteilung der am längsten fixierten Bereiche (Hot spots) unterscheidet. Die Schüler haben im Vergleich zu den Experten weniger Bereiche mit langen Fixationszeiten und fokussieren auch andere Bildelemente in besonderem Ausmaß. Die Schüler verweilten häufig an visuell auffälligen Bildelementen (z. B. einen Berggipfel, einzelne Bäume), die allerdings für die Bildaussage eine geringe Relevanz haben.

Die beiden Gruppen haben gemeinsam, dass die Hot spots hauptsächlich an strukturierenden Elementen (z. B. Wege, Grenzen) liegen und die Farbe ein wichtiges Kriterium für die Aufmerksamkeitssteuerung ist. Die wurde sowohl in den Heat maps deutlich als auch durch die postaktionalen Protokolle verbalisiert.

7.2 Grad der Aufmerksamkeit: Wie lange wird etwas betrachtet?

Unterscheidet sich die mittlere Fixationsdauer von Experten und Schülern?

Fixationen sind äußerlich sichtbare Bestrebungen Objekte wahrzunehmen und zu interpretieren (Duchowski, 2007). Der „eye mind assumption“ nach, steht die Fixationsdauer im Verhältnis zum Grad der Informationsaufnahme (Velichkovsky, 2001).

Betrachtet man die gemittelte Fixationsdauer für die gesamte Testzeit pro Satellitenbild erhält man ein sehr homogenes Bild für beide Gruppen. Statistisch unterschieden sich die Mittelwerte nicht voneinander. Die mittlere Fixationsdauer der Experten für den Stimulus Malaysia liegt bei 261,1 ms (sd = 58,7 ms), für den Stimulus Aralsee bei 233,8 ms (sd = 53,0 ms) und für den Stimulus Grenzregion bei 245,4 ms (sd = 58,3 ms). Die Schülergruppe hat sehr ähnliche Mittelwerte der Fixationsdauer erzielt. Für das Satellitenbild Malaysia liegen sie bei 247,2 ms (sd = 46,2), beim Satellitenbild Aralsee bei 238,0 ms (sd = 67,2 ms) und beim Satellitenbild Grenzregion bei 251,3 ms (sd = 45,6 ms).

Um die gemessenen Fixationsdauern einzuordnen, wird der von Rayner publizierte Wert herangezogen. Er gibt für die visuelle Suche einen Mittelwert von 275 ms und für die Bildbetrachtung einen Mittelwert von 330 ms an (Rayner, 1998). Die mittlere Fixationsdauer der Satellitenbilder ist kürzer als die in der Literatur beschriebenen. Rötting weist aber ausdrücklich darauf hin, dass die Dauer der Fixationen abhängig von der Aufgabe ist und variieren kann (Rötting, 2001).

Damit zeigt sich kein nennenswerter Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Fixationsdauer je Satellitenbild für die komplette Testzeit.

Wie lange ist die mittlere Fixationsdauer zu unterschiedlichen Zeitpunkten?

Analysiert man allerdings die Blickbewegungsdaten der Probanden nach Zeiteinheiten ergibt sich ein differenzierteres Bild über den Ablauf des Rezeptionsverhaltens. Bei allen Satellitenbildern fixieren die Experten in den Zeitintervallen 0 - 10 s, 10 - 20 s und 20 - 30 s deutlich länger als die Schüler. Signifikant ist allerdings nur das Zeitintervall 50 - 60 s, zu betonen sind die Ergebnisse für das erste Zeitintervall, die beim Satellitenbild Malaysia nahe der Signifikanzgrenze liegen. Weitere Signifikanzen wurden nicht ausgegeben, die Fixationsdauer im ersten Intervall des Satellitenbildes Malaysia ist zwar nicht signifikant ($p = 0{,}068$), aber dennoch beachtenswert. Die Experten fixierten die Bildelemente im Mittel 249,26 ms (sd = 60,3 ms) und die Schüler 221,36 ms (sd = 42,1 ms) lang.

Bei Holmquist ist dieser Unterschied zwischen trainierten und weniger geübten Betrachtern bereits beschrieben, indem Expertise zu längeren Fixationszeiten führt (Holmquist, 2011)

und die Informationen tiefergehend bearbeitet werden. Der Unterschied zwischen den Experten und Schülern bezüglich der Fixationsdauer deckt sich somit mit vorhergehenden Studien. Im Umkehrschluss dazu finden sich laut Goldberg et al. bei den trainierten Rezipienten eine geringere Anzahl an Fixationen, die sozusagen durch längere Fixationszeiten bedingt sind (Goldberg & Kotval, 1999). Die Ergebnisse zu den gemittelten Fixationen nach Testzeitpunkt der vorliegenden Studie zeigen eben dieses. Die Schüler fixieren in allen Bildern bis einschließlich zum dritten Abschnitt wesentlich häufiger als die Experten. Die Ergebnisse sind nicht durchweg signifikant.

Im Fall des Satellitenbildes Malaysia ist der erste Zeitabschnitt nur nahe dem Signifikanzniveau, der zweite Abschnitt erfüllt die Bedingungen zur Signifikanz ($M_{Experten}$=27,28, sd = 3,4; $M_{Schüler}$ = 30,1; sd = 4,2; p = 0,017) vollstens. Neben diesen gibt es weitere signifikante Ergebnisse für das Satellitenbild Aralsee. Hier unterscheiden sich die Gruppen im Zeitabschnitt 0 - 10 s signifikant (p = 0,017) voneinander. Die Experten fixieren in diesem Zeithorizont im Mittel 30,53-mal (sd = 3,5), im Gegensatz zu den Schülern, die 33,25-mal ein Bildelement fixieren (sd = 3,7).

Auf die Forschungsfrage zur gemittelten Fixationsdauer zu unterschiedlichen Zeitpunkten, lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Dauer der Fixationen von den Experten vor allem in der ersten Hälfte der Darbietungszeit (bis 30 s) länger als die der Schüler sind. Kongruent dazu lassen sich mehr Fixationen bei den Schülern in den ersten drei Zeitabschnitten beobachten. Bucher beschreibt die erste Zeit der Rezeption (ca. 10 s) als Orientierungsphase, die durch scannende Blickmuster mit weniger Leseanteil charakterisiert ist (Bucher & Schumacher, 2013). Diese Phase ist auch bei dieser Studie erkennbar und zeichnet sich durch ansteigende Fixationszeiten und abnehmende Fixationen bei voranschreitender Zeit aus. Die Blickpfade veranschaulichen zudem die schnellen Blickwechsel zwischen den Bildelementen sowie ein scannendes Blickverhalten im Gegensatz zu einer gezielten Untersuchung eines Raumes. Bei den Schülern ist das Verhalten noch ausgeprägter, da sie kürzere Fixationen und eine höhere Anzahl an Fixationen zeigen.

Unterscheidet sich die Verweildauer innerhalb der Area of Interest (AOI) von Experten und Schülern?

Die Ergebnisse zeigen, dass es nur in einzelnen AOIs einen deutlichen Unterschied in der Verweildauer je AOI gibt. Ansonsten ist die Verteilung der Verweildauer je AOI zwischen den beiden Gruppen sehr ähnlich. Einen signifikanten Unterschied (p = 0,045) findet man unter anderem beim Satellitenbild Malaysia für das *AOI Felder 3* zwischen den Experten (M = 9.249,3 ms; sd= 3.535,9 ms) und den Schülern (M = 6.784,7 ms; sd = 4.231,3 ms). Die Schüler verweilen wesentlich kürzer in diesem AOI, dass allerdings nicht ausschlaggebend für die Erfassung des Bildinhaltes ist.

Ein weiterer signifikanter Unterschied gibt es beim Satellitenbild Grenzregion. Hier unterscheidet sich die Verweildauer im AOI „Grenzgebiet“ signifikant (p = 0,004) zwischen den Gruppen (Experten: M = 4342,1 ms; sd = fehlt; Schüler: M = 1832,7 ms, sd = fehlt). Dieser Bereich ist allerdings entscheidend für die Bildaussage, da es den Grenzstreifen zwischen den Ländern betrifft. Offensichtlich befassen sich die Experten tiefergehender mit diesem Bereich und erkunden ihn deutlich intensiver.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Verweildauer je AOI nur in wenigen Fällen signifikant unterscheidet, aber beispielsweise beim Satellitenbild Grenzregion entscheidend für die Bildinterpretation ist.

7.3 Erschließungsstrategien: Wie erschließt der Betrachter sich das Bild?

Lassen sich Indikatoren für eine Top-Down oder Bottom-up Verarbeitungsstrategie finden?

Um die Forschungsfrage nach den Erschließungsstrategien zu beantworten, dienen die Ergebnisse der Auswertung des Scanpath ratio und auch die Äußerungen der Probanden aus den Laut Denken-Protokollen, die postaktional gegeben wurden. Zunächst soll auf den Scanpath ratio eingegangen werden, der einen geübten Leser anzeigt und auch Indikator für die vorherrschende Anwendung von Top-Down Verarbeitungsstrategien ist (Goldberg & Kotval, 1999; Zangemeister, Sherman, & Stark, 1995). Denn beim hypothesengeleiteten Suchen nach Elementen unternimmt das Auge eher globale als lokale Sakkaden. Dem entgegen stehen lokale Sakkaden für das Abtasten des Bildes in der näheren Umgebung. Bei allen Satellitenbildern ist ein größerer Scanpath ratio für die Experten zu beobachten. Demzufolge zeigen die Experten mehr globale Sakkaden im Verhältnis zu lokalen Sakkaden. Diese Beobachtung steht eher für einen Top-Down Verarbeitungsstrategie der professionellen Satellitenbild-Leser.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt: Bei der Betrachtung des Satellitenbildes Malaysia ergibt der Scanpath ratio 2,78 für die Experten und 2,13 für die Schüler. Der Quotient für das Satellitenbild Aralsee beträgt 2,56 für die Experten und 2,37 für die Schülergruppe. Beim letzten Bild Grenzregion wird ein Quotient von 3,72 für die Experten und 2,92 für die Schüler erzielt. Auffallend ist, dass die Differenz beim Scanpath ratio für das Satellitenbild Aralsee geringer ausfällt. Dies könnte aufgrund des Bildvergleiches und damit einhergehendes Abgleichen der beiden Bilder mit den Augen geschuldet sein.

Weitere Indizien für eine Bottom-up, bzw. eine Top-down Verarbeitungsstrategie lassen sich in den Äußerungen der Probanden in den Laut Denken-Protokollen finden. Bei der Top-Down Verarbeitung gehen die Probanden hypothesengleitet vor, sie haben ein kognitives Modell vor Augen und versuchen es zu widerlegen oder zu erweitern. So sucht beispielsweise VP_06 nach weiteren Zuläufen des Aralsees. Oder VP_11 entdeckt einen

Flusslauf sowie eine senkrecht darauf zulaufende Straße und untersucht daraufhin den Fluss auf mögliche Brückenübergänge, die nicht auf den ersten Blick hin ersichtlich sind. Und als letztes Beispiel sollen hier die Äußerungen von VP_13 aufgeführt werden, der weitere anthropogene Veränderungen in der Landschaft vermutet, weil bereits ein Wegenetz angelegt wurde und das Bild daraufhin abgesucht hat. Denn möglicherweise gibt es Gebiete in denen der Mensch Wälder gerodet oder anderweitig in den Naturraum eingegriffen hat. Die oben aufgeführten Annahmen für eine Top-Down Verarbeitung wurden nur von den Experten geäußert.

Exemplarisch für eine fehlgeschlagene Top-Down Verarbeitung stehen die Äußerungen von VP_29_S. Der Proband findet keine Erklärung für die „Linien“ im Bild, obwohl er zweifelsfrei die darum umliegenden Bäume identifizieren kann. Das übergeordnete kognitive Modell eines Waldes ruft er nicht ab, mit dem er aufgrund seines Vorwissens die Linien hätte identifizieren können.

Stellen die Probanden Beziehungen zwischen Bildelementen her?

Mithilfe der Einteilung der Satellitenbilder in Area of Interests (AOI) lässt sich über eine Matrix herausfinden, ob die Probanden Beziehungen zwischen Bildelementen herstellen oder nicht. Ist die Abfolge der Blicke rein zufällig oder laufen sie gesteuert, bzw. nach einem Schema ab. Die Matrix der Satellitenbilder gibt die Übergänge in % von einem AOI ins nächste an. Die Probanden wechseln zwar häufiger in nahgelegene AOIs, aber der Vergleich zweier entfernterer AOIs findet außerdem statt.

Dieses wird am Satellitenbild Grenzregion deutlich. Denn 2,9 % der Experten und 3,2 % der Schüler wechseln von einem AOI (Landwirtschaft) auf der kasachischen Seite in den chinesischen Bereich, der ebenfalls einen landwirtschaftlichen Bereich beinhaltet. In umgekehrter Richtung wechseln 3 % der Experten und 2,8 % der Schüler. Obwohl die AOIs nicht aneinandergrenzen findet ein direkter Blickwechsel statt. Es ist anzunehmen, dass die Probanden die beiden Landwirtschaftsformen miteinander vergleichen.

7.4 Qualität der Bildrezeption: Wie ist das Verhältnis von Suchenverhalten zu detaillierter Inspektion?

Wie hoch sind die Anteile für das Suchen und für die detaillierte Inspektion des Satellitenbildes?

Da das scharfe Sehen nur im fovealen Bereich stattfindet, muss das Auge sich bewegen, um das Blickfeld zu erkunden. Diese Neuausrichtung des Auges zwischen zwei Fixationen sind die Sakkaden. Wegen der hohen Winkelgeschwindigkeit während einer Sakkade erfolgt keine Informationsaufnahme (Eysel, 2007). Im Gegensatz dazu werden bei einer Fixation, bei der das Auge im Mittel 200 - 330 ms stillsteht sehr wohl Informationen aufgenommen (Bucher & Schumacher 2013, Holmquist 2011, Joos, Rötting und Velichskovsky 2003, Rayner und Pollatsek, 1992). Die beiden Augenbewegungen erfüllen also je eine andere Aufgabe und ihr Verhältnis zueinander gibt einen Einblick in die Anforderung der Informationsverarbeitung der Probanden.

Die Berechnung des Quotienten aus Sakkaden und Fixationen zeigt, dass die Experten mehr Zeit für die Informationsaufnahme aufbringen, im Vergleich zu der Zeit in der sich das Auge bewegt und keine Informationsaufnahme möglich ist. Hier zeigt sich eine Relation zu den mittleren Fixationsdauern unterteilt nach Zeitscheiben, die bereits in einem vorhergehenden Kapitel besprochen wurden. Die Schüler zeigten vor allem zu Beginn der Betrachtungszeit kürzere Fixationen als die Experten (vgl. Kap. 6.3.1).

8 Diskussion der Forschungsfragen

Aus den Ergebnissen der Blickbewegungsstudie beim Lesen von Satellitenbildern mit Experten und Schülern kristallisieren sich drei zentrale Aussagen heraus. Diese ergeben sich aus den Blickbewegungen und Laut Denken-Protokollen zweier sehr unterschiedlicher Gruppen: den professionellen Satellitenbildlesern und den Schülern. Die Gruppen unterscheiden sich signifikant in der Häufigkeit der privaten und dem beruflichen, bzw. dem schulischen Einsatz von Satellitenbildern.

Die erste zentrale Folgerung aus den Blickbewegungsdaten ist, dass die Schüler vornehmlich Bottom-up Verarbeitungsstrategien zeigen während bei den Experten ebenfalls der Weg der Top-Down Strategie zu beobachten ist. Grundlage dieser Annahme ist die Berechnung des Scanpath ratio, der als Indikator für die Verarbeitungsstrategie herangezogen wird (Goldberg & Kotval, 1999; Zangemeister, Sherman, & Stark, 1995) und die postaktionalen Aussagen der Probanden. Bei allen Satellitenbildern ist ein höherer Scanpath ratio für die Experten zu beobachten. Demzufolge zeigen sie mehr globale Sakkaden im Verhältnis zu lokalen, das wiederum bedeutet, sie erkunden das Bild weniger lokal und richten den Blick auch auf weiter entfernte Bildelemente. Besonders herauszuheben ist, dass der Scanpath ratio ein inhaltsunabhängiger Parameter ist und als ein valider Indikator für die Verarbeitungsstrategie gilt. In den Laut Denken-Protokollen der Probanden finden sich weitere Anzeichen für eine Bevorzugung der jeweiligen Verarbeitungsstrategie der beiden Gruppen (vgl. Kap. 6.4).

Die Experten nutzen neben der Bottom-up Verarbeitungsstrategie auch den Weg der Top-down Verarbeitung und sind auf der Suche nach Elementen, die prinzipiell in ihr mentales Modell passen könnten. Sie haben ein Konzept vor Augen und versuchen es zu be- oder widerlegen. Weiterhin beeinflusst das Wissen die Wahrnehmung in dem Sinn, dass der Betrachter, der kaum etwas über ein Bildelement weiß, es nicht erblicken und weitere Schlüssen ziehen kann (Goldstein, 2008). Für den weniger erfahrenen Satellitenbildleser bedeutet dies, dass er manche Bildelemente nicht tiefergehend analysiert, weil er die Bedeutsamkeit darin nicht erkennt. Es sollte daher im Unterrichtskontext deutlich gemacht werden, welchen Sachverhalt er in dem Bild finden kann und damit die Möglichkeit erhält seinen Blick darauf auszurichten.

Eine weitere zentrale Aussage dieser Studie ist, dass die Probandengruppen ihre Aufmerksamkeit unterschiedlich über das Satellitenbild verteilen. Die Experten haben im Gegensatz zu den Schülern deutlich mehr Bereiche mit langen Fixationen, die eine intensive Betrachtung anzeigen. Die Schüler verweilen des Öfteren an visuell auffälligen Elementen, wie Berggipfeln oder auffallenden Bäumen, die nicht zwangsläufig für die Kernaussage des Bildes von zentraler Bedeutung sind und beachteten auf der anderen Seite relevante Bereiche nicht. Funke & Spering sowie Goldstein beschrieben dieses Verhalten von Novizen

bereits in anderen Kontexten (Funke & Spering, 2006; Goldstein, 2008). Aus den Laut Denken-Protokollen geht hervor, dass Schüler zwar die Bildelemente benennen, aber Unsicherheiten zeigen, ob ihre Antwort fachlich korrekt ist. Wenn bereits auf der Stufe des Erkennens und Beschreibens erste Unsicherheiten auftreten, wird es schwierig Zusammenhänge herzustellen, die als höchste Stufe beim Interpretieren von Satellitenbildern angesehen wird. Gerber & Reuschenbach wiesen ebenfalls daraufhin, dass von Schülern oft Interpretationen verlangt werden, die ohne Zuhilfenahme von weiteren Arbeitsmitteln (z. B. Topografische Karten) nicht zu leisten sind oder trotz dieser Mittel wegen mangelnder Eindeutigkeit dennoch misslingen (Gerber & Reuschenbach, 2005).

Das dritte zentrale Ergebnis dieser Studie ist, dass sowohl die Experten als auch die Schüler eine Phase zeigen, die durch kürzere Fixationen aber einer größeren Anzahl von Fixationen gekennzeichnet ist. Bei den Schülern ist diese noch ausgeprägter als bei den erfahrenen Satellitenbildlesern. Der Schüler erkundete anhand der strukturgebenden Elemente (Wege, Flüsse) das Bild, während der Experte einzelne Bildbereiche (Waldgebiet, See) mit, im Vergleich zu den Schülern längeren Fixationen, betrachtet (vgl. 6.3.1). Das Verhalten der Schüler kann an der hohen Informationsdichte von Satellitenbildern liegen, die es zunächst zu überblicken gilt. Bei beiden Gruppen nehmen die Fixationszeiten im Verlauf der Betrachtungszeit zu, bis sie gegen Ende der Testzeit wieder abflachen. Die Fixationszeiten in den ersten 30 Sekunden liegen bei den Experten deutlich über denen der Schüler. Bucher et al. beschreiben die erste Zeit der Darbietung als die Phase der Orientierung (Bucher & Schumacher, 2013).

Die Blickbewegungen erlauben in diesem Testsetting den Rückschluss auf die Erfahrung des Probanden. Denn die Experten haben einen höheren Scanpath ratio, zeigen an relevanten Stellen längere Fixationen und wiesen bereits zu Beginn der Betrachtung längere Fixationen auf, so wie es bereits andere Autoren beschrieben haben (Nodine, Locher, & Krupinski, 1993). Außerdem offenbart die Auswertung des Sakkaden-Fixations-Quotienten für die jeweiligen Satellitenbilder sehr deutlich, dass die Experten mehr Zeit mit der Informationsaufnahme verbringen als mit Sakkaden, in denen keine Information aufgenommen werden kann. Die eigentlichen Leseanteile der Experten sind auf einem höheren Niveau. Sowohl das Verhältnis der Sakkaden zu den Fixationen als auch der Scanpath ratio sind inhaltsunabhängige Parameter, die als sehr objektiv anzusehen sind.

Die Ergebnisse der Studie münden in ein theoretisches Modell, das die einzelnen Analyseschritte beim Lesen von Satellitenbildern unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Blickbewegungsstudie zusammenfasst. Es beschränkt sich zunächst auf das Lesen von Echtfarben-Satellitenbildern und berücksichtigt damit nicht die Analyseschritte, die beim Lesen und Interpretieren von Falschfarben-Bildern zusätzlich hinzukommen. Das Modell ist wie folgt aufgebaut. Der Korpus besteht aus den einzelnen visuellen Analyseschritten beim Lesen von Satellitenbildern von Kollar (2012): Erkennen und Beschreiben von Elementen, Erkennen und Beschreiben von Grobstrukturen, räumliche und zeitliche Einordnung und Herstellen von Zusammenhängen.

Die Schritte sind in diesem Modell nicht hierarchisiert angeordnet, sondern auf einer (zeitlichen) Ebene, da sie nicht zwingend nacheinander ablaufen, sondern auch ineinandergreifen. Zwar müssen einzelne Elemente zunächst erkannt bevor sie miteinander in Beziehung gesetzt werden, aber es muss auch nicht zwingend zunächst eine zeitliche und räumliche Analyse vorab stattfinden.

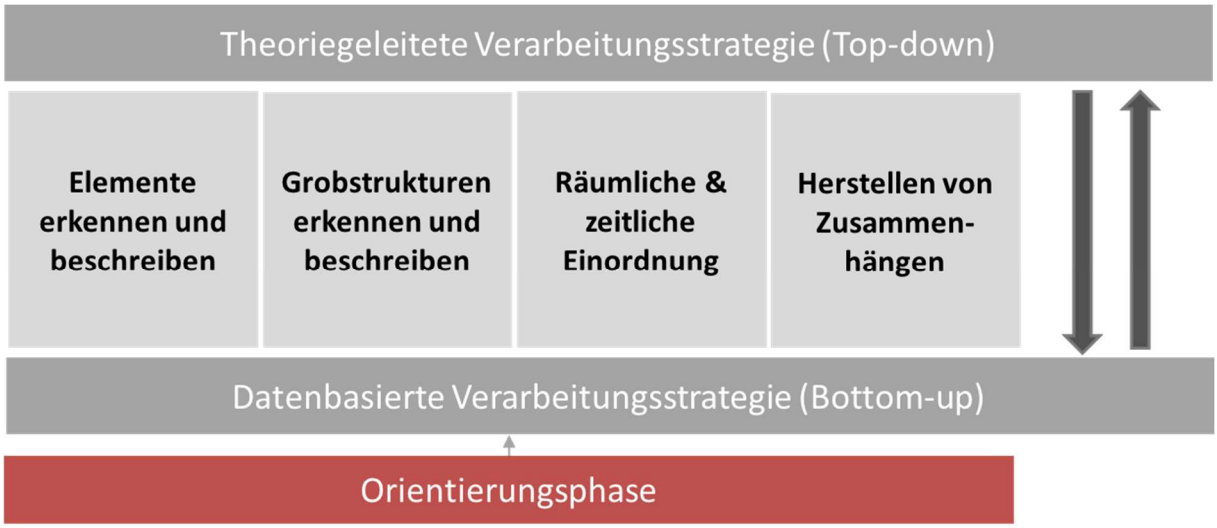


Abbildung 48: Modell der visuellen Analyse von Echtfarben-Satellitenbildern (Eigener Entwurf)

Die einzelnen Schritte der visuellen Analyse von Echtfarben-Satellitenbildern sind umrahmt von zwei unterschiedlichen Verarbeitungsstrategien: der datenbasierten und der theoriegeleiteten Verarbeitungsstrategie. Die Mischung aus beidem wird letztendlich dazu führen, dass der Leser sich intensiv mit dem Bild auseinandersetzt und die Analyseschritte durchführt. Aus der Untersuchung geht allerdings hervor, dass die Schüler mehr die datenbasierte Verarbeitungsstrategie nutzen. Die Blickbewegungsdaten zeigen außerdem, dass der Leser zu Beginn der Betrachtung sich in einer Orientierungsphase befindet und kürzere Fixationen zeigt. Er verschafft sich zunächst einen Überblick bevor er tiefer in die Bildanalyse einsteigt. Bei den Schülern war die Phase noch deutlicher ausgeprägt. Zu Beginn der Bildbetrachtung könnten didaktische Anleitungen zur Bildorientierung eventuell hilfreich sein, bzw. sogar das Bild zunächst in Ausschnitten dargeboten werden, um vor allem den unerfahrenen Leser nicht zu überfordern.

Diese Untersuchung konzentrierte sich auf die Erforschung der visuellen Wahrnehmung zweier unterschiedlicher Probandengruppen beim Lesen von Satellitenbildern und nicht auf den Lernerfolg. Um den bisherigen Umgang mit Satellitenbildern einschätzen zu können, wurde die Nutzung von Satellitenbildern in einem Fragebogen abgefragt. Das Ergebnis zeigt, dass sich die Gruppen ausreichend unterschieden, denn von den Experten arbeiten mehr als 70 % einmal monatlich oder mehr mit Satellitenbildern. Bei den Schülern sind es nur 34,5 %, die einmal im Monat oder mehr damit arbeiten. Und nur 50 % der Schüler bestätigen den

Einsatz von dem im Bildungsplan von Baden-Württemberg verankerten Geomedium in der Schule.

9 Fazit & Ausblick

Mit dem hier angewandten Studiendesign sollten die Unterschiede von Experten und Schülern beim Betrachten von Satellitenbildern aufgezeigt werden. Zur Beschreibung der Unterschiede wurde eine Querschnittserhebung mit der Erhebung nicht experimenteller Daten gewählt. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass es deutliche Unterschiede zwischen erfahrenen und weniger erfahrenen Satellitenbildlesern gibt. Es zeigen sich vor allem in der Strategie, wie ein Satellitenbild erschlossen wird Differenzen. Die Aufmerksamkeitsverteilung weicht ebenfalls voneinander ab und auch das Blickverhalten zu verschiedenen Testzeitpunkten erlaubt die erfahrenen Leser von den weniger erfahrenen Lesern zu unterscheiden, da sie schneller in die tiefergehende Auseinandersetzung mit dem Bild aufgrund längerer Fixationen einsteigen. So ist von einer längeren Orientierungsphase bei den Schülern auszugehen.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich statistisch voneinander in ihrer Nutzung von Satellitenbildern im privaten wie beruflich/schulischen Kontext. Die anfängliche methodische Überlegung ein möglichst weites Spektrum an Expertise vorzufinden, ist somit eingetreten.

In Bezug auf die Forschungsfrage zu den Selektionsstrategien von Schülern und Experten, die die Aufmerksamkeitsverteilung der Probanden anzeigen, gibt es in den Heat maps und Gridded AOIs eindeutige Unterschiede in der Aufmerksamkeitsverteilung. Da die Aufgabenstellung bewusst sehr offen gehalten wurde, um die Blicke nicht zu beeinflussen, wäre in einem nächsten Schritt allerdings von Interesse, warum einzelne Bereiche von den jeweiligen Gruppen nicht länger fokussiert wurden. In den postaktionalen Laut Denken-Protokollen war der Blick ebenfalls auf die Elemente gerichtet, die betrachtet wurden. Was sprach für den Betrachter sozusagen dagegen sich die Bildelemente nicht länger anzuschauen? Hier könnten anknüpfende experimentelle Studien die möglichen Antworten liefern, was die jeweiligen Kriterien für die Lenkung der Aufmerksamkeit sind.

Der Gesichtspunkt Aufmerksamkeitsgrad der Probanden ließ sich hinsichtlich der Fixationsdauer über die gesamte Testzeit, zu verschiedenen Testzeitpunkten und unterteilt in räumliche Gebiete auswerten. Die Expertise beeinflusst augenscheinlich die Fixationsdauer zu Beginn der Darbietung der Bilder die Informationsaufnahme deutlich. Die Ergebnisse sind größtenteils allerdings statistisch nicht zu verifzieren. Ein möglicher Kritikpunkt ist die Taktrate des Eye Trackers. Das eingesetzte Gerät hat eine maximale Taktrate von 60 Hz. Aktuelle Modelle von SensoMotoric Instruments (SMI) bieten mittlerweile bis zu 240 Hz bei stationären Geräten an und erreichen dadurch eine höhere Messgenauigkeit der Blickbewegungen. In der hier vorliegenden Studie wurden die Eye Glasses von SMI eingesetzt, ein mobiler Eye Tracker, der sehr schnell aufgebaut und transportabel ist. Die beiden letztgenannten Aspekte sind für Testungen mit Schülern an ihren Schulen zwingend notwendig, aber letztendlich ein Kompromiss mit Einbußen bei der

Sensitivität. Auf ein anderes Gerät auszuweichen war nicht möglich, denn Eye Tracker haben einen sehr hohen Anschaffungswert. Dankenswerterweise stellte die Abteilung Wissenschaftskommunikation am Karlsruher Institut für Technologie der Autorin den Eye Tracker zur Verfügung. Ohne die Leihgabe wäre die Untersuchung nicht möglich gewesen.

Hinsichtlich der Frage nach Indikatoren für Top-Down oder Bottom-up Verarbeitungsstrategien dienten die Ergebnisse der Auswertung des Scanpath ratio und die Äußerungen der Probanden aus den Laut Denken-Protokollen. Der inhaltsunabhängige Parameter des Scanpath ratio zeigt für alle drei Bilder ein eindeutiges Ergebnis, dass die Experten mehr Top-Down Strategien anwenden. Die Laut Denken-Protokolle unterstreichen dieses, da vor allem die Experten Top-Down Strategien äußerten und die Schüler eher datenbasiert vorgingen.

Die Ergebnisse aus der Untersuchung der Verarbeitungsstrategie ermöglichen die Formulierung folgender Hypothese. Für eine erfolgreiche Bildauswertung ist ein entscheidender Aspekt, das zur Verfügung stehende mentale Modell des Lernenden. Die vom Kartenstudium oder durch andere Medien verinnerlichte mentale Karte wird mit dem vorgelegten Satellitenbild verglichen, erweitert oder gar neu konstruiert. Wie stark sich das Vorwissen und die vorhandenen mentalen Modelle auf die Bildinterpretation auswirken, wurde bisher noch nicht beim Einsatz von Satellitenbildern untersucht.
Um das ganze Potenzial von Satellitenbildern möglichst auszuschöpfen, sollten aber nicht nur die Begleitmaterialien sondern auch die Art und Weise, wie Satellitenbilder im Unterricht eingesetzt werden in den Fokus genommen werden. Sind es eher instruktionale Unterrichtsmethoden oder eignen sich auch offene Methoden, wie das entdeckende Lernen, beim Einsatz dieses hochinformativen Geomediums. Der Einfluss der Unterrichtssettings auf die Blickbewegungen und damit auch der kognitiven Verarbeitungsprozesse wäre hier die ausgehende Forschungsfrage.

Unter dem Gesichtspunkt der Erschließungsstrategie wurde auch untersucht, ob die Probanden Beziehungen zwischen den Bildelementen herstellen können. Dafür wurden Interessensbereiche auf Grundlage der Landnutzung abgesteckt (AOI). Dies gelang vor allem beim Satellitenbild Grenzregion, da es deutlich voneinander abzugrenzende Gebiete gibt. Bei den übrigen Bildern war es schwierig eine valide Aussage zu treffen, da die AOIs sich teilweise von der dargestellten Bildaussage (z. B. natürlicher Wald I und II) doppelten und es somit schwierig war, eine eindeutige Aussage zu treffen. Die Methode der Area of Interest eignet sich leider nicht mit den hier ausgewählten Satellitenbildern und Aufgabenstellung, um eindeutig zu belegen, ob der Proband Beziehungen zwischen den Bildelementen herstellt oder nicht. Möglicherweise wäre ein konkreter (Such-) Auftrag hier eindeutiger gewesen.

Da die Aufgabenstellung sich auf die Blickbewegungen auswirken kann (Yarbus, 1967) wurde sie aber gezielt sehr offen formuliert und keine Suchaufträge gegeben. Die Probanden sollten sich das Bild insofern genau anschauen, dass sie im Anschluss eine Bildunterschrift formulieren können, bzw. in wenigen Worten die Kernaussage wiedergeben. Ziel war es die

visuelle Wahrnehmung und Strategien beim Lesen von Satellitenbildern zu erfassen und nicht den Lernerfolg. Die Schwierigkeit bei der Auswahl der Satellitenbilder bestand darin, dass die Bilder sowohl sehr aussagekräftig sein müssen, sie aber die Leser weder über- noch unterfordern sollen. Vor allem galt es auf die geringe Erfahrung der Schüler einzugehen und sich thematisch an ihren Vorerfahrungen zu orientieren. Deshalb wurden zum einen nur Echtfarben-Satellitenbilder ausgewählt und darauf geachtet, dass sie exemplarisch Themen aus den vorangegangenen Klassenstufen abbilden: Raubbau an Wäldern, Verlandung eines Sees und der Kontrast zweier Staaten in der Bevölkerungsdichte.

Die letzte Forschungsfrage zur Qualität der Bildrezeption wird ebenfalls durch einen objektiven und inhaltsunabhängigen Parameter, dem Verhältnis von Sakkaden zu Fixationen, bestimmt und hat damit eine hohe Objektivität. Die Anteile für das Suchen (Sakkaden) versus der detaillierten Inspektion (Fixationen) zeigen, dass die Experten mehr Zeit für die Informationsaufnahme aufbringen als die Schüler und sich möglicherweise schneller im Bild orientieren.

Obwohl sich die Probandengruppen so deutlich unterschieden, gibt es zwar erkennbare aber nur wenige statistisch signifikante Unterschiede in den Blickbewegungen. Um repräsentative Daten zu erhalten, empfehlen Nielsen und Pernice (2010) eine Teilnehmerzahl von 39 Probanden. Die durchschnittliche Teilnehmerzahl von Blickbewegungsstudien beträgt jedoch aufgrund des Zeitaufwandes beim Testen und der Auswertung bei ca. 10 – 12 Personen (Rakoczi, 2012). Bei dieser Studie wurden 19 Experten sowie 31 Schüler getestet und damit eine theoretisch ausreichend große Datenmenge generiert. Da die Stärke des Eye Tracking auf der qualitativen Auswertung der Blickbewegungen liegt und beispielsweise Allokationen zeigt sowie die visuelle Aufmerksamkeit der Probanden sichtbar macht, ist der Erkenntnisgewinn dennoch gegeben und als valide einzustufen.

Dem in der Einleitung aufgeworfenen Forschungsdesiderat wollte diese Studie nachkommen und verstärkt Einblicke in die Prozesse beim Satellitenbildlesen geben. Im Beitrag von Rainer Mehren werden Videographische Studien als besonders geeignet vorgeschlagen (Bagoly-Simó & Hemmer, 2016). Die Eye Tracking Studie konnte zeigen, dass die Experten auch den Weg der Top-Down Verarbeitung wählen im Gegensatz zu den Schülern, die weniger geübten Leser eine längere Orientierungsphase haben, die Experten mehr Zeit für die Informationsaufnahme aufbringen und die Aufmerksamkeitsverteilung sich zwischen den Gruppen unterscheidet.

Die Methode des Eye Tracking bringt sehr viele Vorteile, aber auch Nachteile mit sich, so ist die Auswahl der Parameter und ihre Kontextualisierung die zentrale Herausforderung beim Einsatz des Eye Tracking. Diese Aussage trifft natürlich auf viele Methoden zu, aber beim Eye Tracking werden einzelne Messwerte betrachtet, die eine enorme Reduktion und Komprimierung mit sich bringen. Rakoczi warnt daher vor schnellen unbegründeten Falschaussagen (Rakoczi, 2012). Der Blickverlauf an sich ist mehr als das zu beobachtende Einzelmerkmal (z. B. die Fixation). Eine ganzheitliche Abbildung der kognitiven Prozesse ist

allerdings nicht leistbar. Erste Versuche den Blickverlauf durch mehrdimensionale Clusteranalysen zu beschreiben werden getestet, aber sind noch nicht etabliert genug (Geise, 2011). Durch die Laut Denken-Protokolle wurden die Blickbewegungen der Probanden kontextualisiert, um sie nicht losgelöst von der Intention des Betrachters zu deuten.
Die Eye Tracking Forschung blickt allerdings auf eine lange Geschichte zurück und ist keinesfalls eine neue Methode, so dass es eine große Anzahl an Studien gibt, die zum Abgleich der Ergebnisse herangezogen werden können (vgl. Kap. 3.2). Und auch die in den 80er Jahren formulierten Prämissen von Just & Carpenter (1980) sind bis zum heutigen Tag gültig. Den teils sehr aussagekräftigen Ergebnissen dieser Studie nach, kann die Eye Tracking Methode eine weiterere erkenntnisbringende Methode einer modernen geographiedidaktischen Forschung sein. Der Einsatz des Eye Trackings ermöglichte anhand verschiedener Blickbewegungsparameter Einblicke in die Prozessebene.

Die Nutzung von Satellitenbildern unter Berücksichtigung didaktischer Gesichtspunkte sollte weiter vorangetrieben werden. Nicht zuletzt wegen der Forderung nach größerer Methodenvielfalt im Unterricht, sondern auch um das ganze Potenzial von Satellitenbilddaten auszuschöpfen. Fuchsgruber et al. gehen über den reinen Einsatz von Satellitenbildern hinaus, so dass sich die Unterrichtskultur gar von einer analog-rezeptiven zu einer digital-partizipativen Lernumgebung entwickeln soll (Fuchsgruber, Ditter, & Siegmund, 2017). Beispielsweise können Schüler mit Hilfe der Webanwendung „Blickpunkt Fernerkundung“ (BLIF) selbstständig Fernerkundungsdaten bearbeiten und auswerten.

Dazu bedarf es nicht nur der geographiedidaktischen Forschung, wie hier vorliegend, sondern auch auf den Unterricht zugeschnittene Materialien und Fortbildungen für Lehrerinnen und Lehrer. Ein von der Klaus Tschira Stiftung gefördertes Kompetenzzentrum für digitale Geomedien, die GIS-Station, kommt diesem bereits nach und bildet Lehrer im Fernerkundungs- und GIS- Bereich fort.

Literaturverzeichnis

Airbus defence and space. (2017). Abgerufen am 12. 02 2017 von http://www.intelligence-airbusds.com/de/5768-bild-informationen?img=1480#.WKCKFvL09ic

Aladin, N., Crétaux, J.-F., Plotnikov, I., Kouraev, A., Smurov, A., Cazenave, A., Papa, F. (2005). Modern hydro-biological state of the Small Aral sea. *Envirometrics*. Bd. 16, S. 375-392.

Albertz, J. (2009). *Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.* Darmstadt.

Ansorge, U., & Leder, H. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.* Wiesbaden.

Bär, O. (1977). Karte - Luftfoto - Satellitenbild und ihre Verwendung im Unterricht. *Geographica Helvetica, 32*(3), S. 145-150.

Bagoly-Simó, P., & Hemmer, I. (2016). Geographiedidaktische Forschung - quo vadis? Ergebnisse einer Expertendiskussion. *Zeitschrift für Geographiedidaktik, 44*(3), S. 55-64.

Banyard, P. (1995). *Einführung in die Kognitionspsychologie.* Basel, München.

Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler.* Heidelberg.

Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler.* Heidelberg.

Breitbach, T. (1996). Stellenwert und Handhabung der Fernerkundung im Geographieunterricht. *Geographie und Schule, 18*(104), S. 26–39.

Bridgeman, B. (1992). Conscious vs. unconscious processes: The case of vision. *Theory & Psychology*(2), S. 73-78.

Brosius, H.-B. (1983). *Verarbeitung visuell präsentierter Szenen.* Münster.

Brucker, A. (1981). Sehgewohnheiten ändern - Satellitenbilder als Medien im Unterricht. *Praxis Geographie, 11*(1), S. 2-3.

Bucher, H.-J., & Schumacher, P. (2013). Aufmerksamkeit und Informationsselektion als Schlüssel zur Aufmerksamkeitssteuerung. In H.-J. Bucher, & P. Schumacher, *Interaktionale Rezeptionsforschung.* Wiesbaden.

Buswell, G. T. (1935). *How People look at pictures: A study of the psychology of perception in art.* Chicago.

Conrad, D., & Obermaier, G. (2015). Blickbewegungen der Schüler festhalten – Eye-Trackingforschung und ihr möglicher Nutzen für den Geographieunterricht! *17. Bayerischen Schulgeographentages an der Universität Eichstätt vom 10. - 12. 03. 2016.* Bayreuth.

Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften.* Heidelberg.

DGfG (2014). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss mit Aufgabenbeispielen.* (Deutsche Gesellschaft für Geographie, Hrsg.) Bonn.

Dillon, R. (1985). Eye movement analysis of information processing under different testing conditions. *Contemporary educational Psychology, 10*, S. 387-395.

Ditter, R. (2014). Die Wirksamkeit digitaler Lernwege in der Fernerkundung, eine empirische Untersuchung zu Lernmotivation und Selbstkonzept bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe. Diss. PH Heidelberg. Abgerufen am 14. Juni 2015 von urn:nbn:de:bsz:he76-opus-75373

Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology.* London.

Engelbrecht, M., Betz, J., Klein, C., & Rosenberg, R. (2011). Dem Auge auf der Spur: Eine historische und empirische Studie zur Blickbewegung beim Betrachten von Gemälden. *Zeitschrift für interdisziplinäre Bildwissenschaft, 11, S. 29-42.* Abgerufen am 24. November 2016 von http://www.gib.uni-tuebingen.de/own/journal/pdf/buch_image11.pdf

Eysel, U. (2007). Sehen und Augenbewegungen. In R. Schmidt, & F. Lang, *Physiologie des Menschen und Pathophysiologie* (S. 377-420). Heidelberg.

Frey, H.-P., König, P., & Einhäuser, W. (2007). The role of first- and second-order stimulus features for human overt attention. *Perception & Psychophysics*, S. 153-161.

Fuchsgruber, V., Ditter, R., & Siegmund, A. (2017). Geographieunterricht mit Satellitenbildern innovativ gestalten. *Praxis Geographie*(3), S. 8-9.

Funke, J., & Spering, M. (2006). Methoden der Denk- und Problemlöseforschung. In J. Funke (Hrsg.), *Denken und Problemlösen* (Bd. Enzyklopädie der Psychologie, S. 675-744). Göttingen.

Geise, S. (2011). Eyetracking in der Kommunikations- und Medienwissenschaft: Theorie, Methode und kritische Reflexion. *Studies in Communication Media*(2). S. 151-263.

Gerber, W., & Reuschenbach, M. (2005). Fernerkundung im Unterricht. *Geographie heute, 26*(235), S. 2-8.

Goldberg, J., & Kotval, X. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*(24), S. 631-645.

Goldstein, E. B. (2008). *Wahrnehmungspsychologie.* Heidelberg.

Häder, M. (2010). *Empirische Sozialforschung.* Wiesbaden.

Hagendorf, H., Krummenacher, J., Müller, H.-J., & Schubert, T. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.* Heidelberg.

Haider, H., & Frensch, P. (1999). Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 25*, S. 172-190.

Hansen, M., Potapov, P., Morre, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Townshend, J. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science, 342*, S. 850-853.

Haspel, M., & Jahn, M. (2014). "GLOKAL Change": Mit Satellitenbildern nicht nachhaltige Entwicklungen bewerten lernen. In U. Michel, A. Siegmund, M. Ehlers, M. Jahn, & A. Bittner (Hrsg.), *Digitale Medien in der Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 59-68).

Hassenpflug, W. (1996). Satellitenbilder im Erdkundeunterricht. *Geographie heute*(137), S. 4-11.

Hemmer, I., & Hemmer, M. (2007). Nationale Bildungsstandards im Fach Geographie - Genese, Standortbestimmung, Ausblick. *Geographie heute, 255/256*(28), S. 2-9.

Henderson, J. (2003). Human gaze control during real-world scene perception. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, S. 498-504.

Henderson, J. M., Brockmole, R., Castelhano, M., & Mack, M. (2007). Visual Saliency does not account for eye movements during visual search in real-world-scenes. In R. P. Gompel, M. H. Fischer, & W. S. Murray, *Eye Movements: A window on Mind and Brain* (S. 537-562). Berlin.

Hoffmann, K. (2009). Mit den Nationalen Bildungsstandards Geographieunterricht planen und auswerten. *Geographie und ihre Didaktik, 37*(3), S. 105-119.

Hollingworth, A., & Henderson, J. M. (1998). Does consistent scene context facilitate object perception? *Journal of Experimental Psychology, 127*(4), S. 398-415.

Holmquist, K. (2011). *Eye tracking a comprehensive guide to methods and measures.* Oxford.

Hussy, W., Schreier, M., & Echterhoff, G. (2010). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor.* Heidelberg.

Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, S. 194-203.

Joos, M., Rötting, M., & Velichskovsky, B. (2003). *Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Mehtoden und innovative Anwendungen.* Abgerufen am 16. Februar 2015 von http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_mathematik _und_naturwissenschaften/fachrichtung_psychologie/i3/applied-cognition/publikationen/pdf/joos2002.pdf.

Just, M. A., & Carpenter, P. (1980). A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review, 87*(4), S. 329-354.

Just, M., & Carpenter, P. (1976). Eye Fixations and Cognitive Processes. *Cognitve Psychology, 4*(8), S. 441-480.

Kestler, F. (2002). *Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts.* Bad Heilbrunn.

Knudsen, E. (2007). Fundamental components of visual attention. *Annual Review of Neuroscience*(30), S. 57-78.

Kollar, I. (2012). Die Satelllitenbild-Lesekompetenz : empirische Überprüfung eine theoriegeleiteten Kompetenzstrukturmodells für das "Lesen" von Satellitenbildern. Diss. PH Heidelberg. Abgerufen am 14. Juni 2015 von urn:nbn:de:bsz:he76-opus-75277

Kromrey, H. (2009). *Empirische Sozialforschung.* Stuttgart.

Löffler, E., & Honecker, U. &. (2005). *Geographie und Fernerkundung.* Berlin.

Labudde, P., Duit, R., Fickermann, D., Fischer, H., & Harms, U. (2009). Kompetenzmodelle und Bildungsstandards: Aufgaben für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(15), S. S. 125-152.

Mallot, H. P. (2006). Visuelle Wahrnehmung. In J. Funke, & Frensch, P. A., *Handbuch der Allgemeinen Psychologie - Kognition* (Bd. 5, S. 127 - 137). Göttingen.

Mangold, R. (2007). *Informationspsychologie.* München, Heidelberg.

McConkie, G., Underwood, N., Zola, D., & Wolverton, G. (1985). Some Temporal Characteristics of Processing During Reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 6*(17), S. 578-586.

Ministerium für Kultus, J. u.-W. (2016). *Bildungsplan des Gymnasiums.* Abgerufen am 06. März 2017 von http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_GEO.pdf

NASA - Earth Observatory. (2009). *Deforestation in Malaysian Borneo*. Abgerufen am 7. Oktober 2015 von http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=40139

NASA-Visible Earth. (2015). Abgerufen am 10. Oktober 2015 von http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=84199

NASA-Visible Earth. (2017). *Aral Sea*. Abgerufen am 12. Februar 2017 von visibleearth.nasa.gov/view.php?id=62296

NASA-Visible Earth. (2017a). *Aral Sea, 2000-2008*. Abgerufen am 12. Februar 2017 von http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=9036

Neumann-Mayer, U. P. (2005). *Der Zugang zu Satellitenbildern in der Orientierungsstufe - Probleme und Möglichkeiten.* Abgerufen am 16. Juni 2017 von http://d-nb.info/978796810/34;

Nielsen, J., & Pernice, K. (2010). *Eye Tracking Web Usability.* Berkeley.

Nodine, C., Locher, P., & Krupinski, E. (1993). The role of formal art training on perception and asthetic judgment of art compositions. *Leonardo, 26*, S. 219-227.

Parkhust, D., Klinton, L., & Ernst, N. (2002). Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. *Vision Research, 42*, S. 107-123.

Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M.,Schiefele, U. (2003). *PISA 2003 Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs Zusammenfassung .* Abgerufen am 15. August 2017 von http://archiv.ipn.uni-kiel.de/PISA/Zusammenfassung_2003.pdf

Rötting, M. (2001). *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen.* Aachen.

Rakoczi, G. (2012). Eye Tracking in Forschung und Lehre. Möglichkeiten und Grenzen eines vielversprechenden Erkenntnismittels. *Medien in der Wissenschaft*(61), S. 87-98.

Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Informative Processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 3*(124), S. 372-422.

Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), S. 1457-1506.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1992). Eye movements and scene perception. *Canadian Journal of Psychology*(46), S. 342-376.

Reuschenbach, M. (2009). Luft- und Satellitenbilder. *Geographie heute, 30(271/272)*. S.54-63.

Sandmann, A. (2014). Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung.* Heidelberg.

Schneider, W., & Maasen, S. (1998). Mechanisms of Visual Attention: A Cognitive Neuroscience Perspective. A Special Issue of the Journal Visual Cognition. East Sussex.

Schumacher, P. (2012). Blickaufzeichnung in der Rezeptionsforschung: Befunde, Probleme und Perspektiven. In H.-J. Bucher, *Interaktionale Rezeptionsforschung: Theorie und Methode der Blickaufzeichnung in* (S. 111-134). Wiesbaden.

Siegmund, A. (2011). *Satellitenbilder im Unterricht : eine Ländervergleichsstudie zur Ableitung fernerkundungsdidaktischer Grundsätze*. Diss. PH Heidelberg. Abgerufen am 14. Juni 2015 von urn:nbn:de:bsz:he76-opus-75244

Siegmund, A., & Menz, G. (2005). Fernes nah gebracht - Satelliten- und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht. *Geographie und Schule, 27*(154), S. 2-10.

Spering, M., & Schmidt, T. (2009). *Allgemeine Psychologie kompakt.* Weinheim: Julius Beltz Verlag.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction, 4*(4), S. 295-312.

United States Central Intelligence Agency. (2014). *The world Factbook: China*. Abgerufen am 7. Oktober 2015 von https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html

United States Central Intelligence Agency. (2014). *The world Factbook: Kazakhstan*. Abgerufen am 7. Oktober 2015 von https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/kz.html

United States Central Intelligence Agency. (2014). *The world Factbook:Malaysia*. Abgerufen am 7. Oktober 2015 von https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/my.html

Velichkovsky, B. (2001). Levels of Processing: Validating the Concept. In M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch, & H. Roediger, *Perspektives on Human Memory and Cognitive Aging: Essays in Honour of Fergues I. M. Craik* (S. 48-70). Philadelphia.

Velichkovsky, B., Sprenger, A., & Pomplun, M. (1997). Auf dem Weg zur Blickmaus: Die Beeinflussung der Fixationsdauer durch kognitive und kommunikative Aufgaben. In B. Liskowsky, B. Velichkovsky, & W. Wünschmann, *Software-Ergonomie ´97: Usability-Engerneering: Integration von Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung* (S. 317-327). Stuttgart.

Weidenmann, B. (1991). *Lernen mit Bildmedien. Psychologische und didaktische Grundlagen.* Basel.

Wikipedia. (2004). Abgerufen am 12. Februar 2017 von Rot-Grün-Sehschwäche: https://de.wikipedia.org/wiki/Rot-Gr%C3%BCn-Sehschw%C3%A4chev

Wissinger, B., & Kohl, S. (2005). Genetische Ursachen der Farbenblindheit. *Biospektrum*, S. 29-33.

Wooding, D. S. (2002). Eye movements of large populations: Deriving regions of interest, coverage,and similarity using fixation maps. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 34*(4), S. 518-528.

Yarbus, A. (1967). *Eye Movements and Vision.* New York.

Zangemeister, W., Sherman, A., & Stark, L. (1995). Evidence for a global scanpath strategy in viewing abstract compared with realistic images. *Neuropsychologia, 33*(8), S. 1009-1025.

Anhang

A Materialien

Abb. A.1: Elterninformation und Einverständniserklärung

Elterninformation und Einverständniserklärung
für die Teilnahme an der Studie

„Studie zum Lesen von Satellitenbildern“

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr,

wir freuen uns über Ihr Interesse an unserem Forschungsprojekt im Rahmen einer Dissertation und möchten Sie im Folgenden über die oben genannte Studie informieren. Es handelt sich dabei um eine wissenschaftliche Studie der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, die das Lesen von Satellitenbildern mithilfe eines Eye Trackers untersucht.
Satellitenbilder finden immer mehr Einzug in unseren Alltag (z. B. Google Earth) aber auch in den Schulunterricht. Die Bilder stellen beispielsweise sehr anschaulich Landschaftsveränderungen durch anthropogenen Einfluss oder Auswirkungen von Naturgefahren in großem Maßstab dar. Didaktische Grundlagen fehlen für das moderne Geomedium aber noch. Diese Studie will daher grundlegende Erkenntnisse zum Leseverhalten von Satellitenbildern liefern.

Die Untersuchung findet mithilfe eines Eye Trackers (siehe Abbildung) statt. Das ist eine Brille mit eingebauter Hochgeschwindigkeitskamera, die kleinste Augenbewegungen aufnehmen kann. Anhand derer kann man Fragen beantworten wie:

- Welche Bildelemente schaut sich der Schüler/die Schülerin wie oft und wie lange an?
- Welche Bildelemente sieht der Schüler/die Schülerin nicht?
- Stellt der Schüler/die Schülerin Beziehungen zwischen den Bildelementen her?

Folgenden Ablauf sieht die Studie vor:

a) Begrüßung
b) Beantwortung des Fragebogens
    a. Alter, Geschlecht, Häufigkeit der Nutzung von Satellitenbilder, Test auf Rot-Grün Blindheit durch ein Bild)
c) Aufsetzen der Brille und Kalibrierung
d) Test I: Es werden vier Satellitenbilder je eine Minute lang dargeboten, der Schüler/die Schülerin schaut sie sich an.
e) Test II: Der Schüler/die Schülerin schaut sich im Nachhinein die eigenen Augenbewegungen an und kommentiert diese. Die Äußerungen werden aufgezeichnet (ohne Brille).

Testdauer insgesamt: ca. 20 min

Die Durchführung des Tests wird vor Ort in der Schule Ihres Kindes durchgeführt. Der Test erfolgt auf freiwilliger Basis und führt keinen Nachteil bei Nichtteilnahme mit sich.
Für unsere Untersuchung benötigen wir einige persönliche Daten von Ihnen und Ihrem Kind wie bspw. Alter und Geschlecht aber keinen Namen und Adresse. Mit Ihrer Unterschrift erlauben Sie uns,

ihr Kind nach diesen Informationen zu fragen. Während der Untersuchung wird eine Audio-Aufnahme angefertigt und gespeichert. Alle Daten und Tonaufnahmen Ihres Kindes werden selbstverständlich streng vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Da keine Namen erhoben werden sind alle Daten anonymisiert und können nicht zurückverfolgt werden.

Projektleiterin: Michelle Haspel
Verantwortlicher Professor: Prof. Dr. Alexander Siegmund
(Bitte unterschrieben zur Untersuchung mitbringen)

EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass mein Kind,

_____ an der Studie zum Lesen von Satellitenbildern teilnimmt.

Ich wurde über das Ziel der Studie und die geplanten Untersuchungen aufgeklärt. Weitere Fragen ergeben sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht. Ich weiß, dass die Teilnahme an der Untersuchung freiwillig.

Ich wurde darüber informiert, dass alle während der Untersuchung erhobenen Daten streng vertraulich behandelt werden und anonymisiert sind. Der Name meines Kindes wird nicht dokumentiert.

Ich bestätige durch meine Unterschrift, dass ich die Aufklärung verstanden habe und mit der Teilnahme meines Kindes an dieser Studie einverstanden bin.

(Ort/ Datum/ Unterschrift der Erziehungsberechtigten)

Herzlichen Dank, dass Sie das Forschungsvorhaben unterstützen.

Beste Grüße,

Michelle Haspel

Falls Sie weitere Fragen zu den geplanten Untersuchungen haben, nehmen Sie bitte Kontakt mit der aufgeführten Ansprechpartnerin auf.

Michelle Haspel
Pädagogische Hochschule Heidelberg
Abteilung Geographie
Czernyring 22/11
69115 Heidelberg

E-Mail: haspel@ph-heidelberg.de
Homepage der Arbeitsgruppe: www.rgeo.de
Verantwortlicher Professor: Prof. Dr. Alexander Siegmund, PH Heidelberg

Abb. A.2: Datenblatt der Schüler

Eye-tracking-Studie zur Analyse von Blickbewegungen beim Lesen von Satellitenbildern

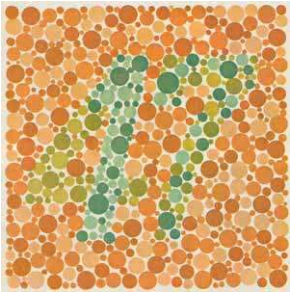
Soziodemografische Angaben:

Alter: _____

Im Moment besuchte Klassenstufe: _____

Geschlecht: o weiblich o männlich

Welche Zahl kannst du erkennen? _____



Fragen zum Leseverhalten von Satellitenbildern:

>> Wie oft arbeitest du in der Schule mit Satellitenbildern?

O täglich

O einmal wöchentlich oder mehr

O einmal monatlich oder mehr

O einmal im halben Jahr oder mehr

O einmal im Jahr oder mehr

O nie

>> In welchen Schuljahren habt ihr mit Satellitenbildern gearbeitet?

O in der Unterstufe (5.-7. Klasse)

O in der Mittelstufe (8.-10. Klasse)

>> Wie oft beschäftigst du dich privat mit Satellitenbildern?

O täglich

O einmal wöchentlich oder mehr

O einmal monatlich oder mehr

O einmal im halben Jahr oder mehr

O einmal im Jahr oder mehr

O nie

(Interne Notiz: Track-ID_____)

Abb. A.3: Datenblatt der Experten

Eye-tracking-Studie zur Analyse von Blickbewegungen beim Lesen von Satellitenbildern

Soziodemografische Angaben:

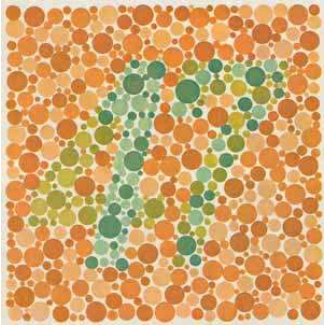
Alter: _____

Geschlecht: o weiblich o männlich

Ausbildung im Bereich Fernerkundung:

_____

Welche Zahl können Sie erkennen? _____



Fragen zum Leseverhalten von Satellitenbildern:

>> Wie oft arbeiten Sie mit Satellitenbildern?

O täglich

O einmal wöchentlich oder mehr

O einmal monatlich oder mehr

O einmal im halben Jahr oder mehr

O einmal im Jahr oder mehr

O nie

>> Wie oft beschäftigen Sie sich privat mit Satellitenbildern?

O täglich

O einmal wöchentlich oder mehr

O einmal monatlich oder mehr

O einmal im halben Jahr oder mehr

O einmal im Jahr oder mehr

O nie

(Interne Notiz: Track-ID_____

B Auswertungsergebnisse der Studie

Tab. B.1: Mittlere Fixationsdauer und Anzahl an Fixationen für die Satellitenbilder Malaysia, Aralsee und Grenzregion

Stimulus	Gruppe		Mittlere_Fixations-dauer_ms	Anzahl_Fixationen
Aralsee	Experten	Mittelwert	233,7511	158,05
		N	19	19
		Standardabweichung	53,02227	20,560
	Schüler	Mittelwert	237,9681	159,97
		N	31	31
		Standardabweichung	67,17549	25,588
	Insgesamt	Mittelwert	236,3656	159,24
		N	50	50
		Standardabweichung	61,64255	23,602
Grenz-region	Experten	Mittelwert	245,4378	166,67
		N	18	18
		Standardabweichung	48,27823	21,584
	Schüler	Mittelwert	251,2687	157,52
		N	31	31
		Standardabweichung	45,63234	25,688
	Insgesamt	Mittelwert	249,1267	160,88
		N	49	49
		Standardabweichung	46,20603	24,439
Malaysia	Experten	Mittelwert	261,1237	155,95
		N	19	19
		Standardabweichung	58,69427	17,248
	Schüler	Mittelwert	247,1748	157,00
		N	31	31
		Standardabweichung	46,08265	19,814

Tab. B.2: Ergebnisse des Levene-Tests der Varianzgleichheit pro Satellitenbilder

Stimulus			Levene-Test der Varianzgleichheit Signifikanz
Aralsee	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,983
		Varianzen sind nicht gleich	
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,361
		Varianzen sind nicht gleich	
Grenzregion	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,405
		Varianzen sind nicht gleich	
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,731
		Varianzen sind nicht gleich	
Malaysia	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,232
		Varianzen sind nicht gleich	
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,480
		Varianzen sind nicht gleich	

Tab. B.3: Ergebnisse des T-Tests für die Mittelwertgleichheit pro Satellitenbild

Stimulus			T-Test für die Mittelwertgleichheit Sig. (2-seitig)
Aralsee	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,817
		Varianzen sind nicht gleich	,807
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,784
		Varianzen sind nicht gleich	,773
Grenzregion	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,675
		Varianzen sind nicht gleich	,680
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,210
		Varianzen sind nicht gleich	,190
Malaysia	Mittlere_Fixationsdauer_ms	Varianzen sind gleich	,354
		Varianzen sind nicht gleich	,384
	Anzahl_Fixationen	Varianzen sind gleich	,849
		Varianzen sind nicht gleich	,844

Tab. B.4: Mittelwerte und Standardabweichung für die mittlere Fixationsdauer je Zeitabschnitt

Stimulus		Gruppe	N	Mittelwert	Standard-abweichung
Aralsee	Mittlere Fixationsdauer 0- 10s	Experten	19	220,90	50,718
		Schüler	28	213,47	37,009
	Mittlere Fixationsdauer 10- 20s	Experten	19	232,34	63,943
		Schüler	28	215,43	44,916
	Mittlere Fixationsdauer 20- 30s	Experten	19	240,48	57,544
		Schüler	28	234,23	79,232
	Mittlere Fixationsdauer 30- 40s	Experten	19	231,13	52,527
		Schüler	28	223,15	57,346
	Mittlere Fixationsdauer 40- 50s	Experten	19	240,76	62,757
		Schüler	28	248,97	84,847
	Mittlere Fixationsdauer 50- 60s	Experten	19	224,22	139,669
		Schüler	28	183,54	135,431
Grenzregion	Mittlere Fixationsdauer 0- 10s	Experten	16	242,79	54,856
		Schüler	27	220,46	41,412
	Mittlere Fixationsdauer 10- 20s	Experten	16	254,46	57,728
		Schüler	27	249,43	54,340
	Mittlere Fixationsdauer 20- 30s	Experten	16	251,01	48,591
		Schüler	27	252,57	43,155
	Mittlere Fixationsdauer 30- 40s	Experten	16	245,43	64,009
		Schüler	27	269,08	85,365
	Mittlere Fixationsdauer 40- 50s	Experten	16	240,79	80,955
		Schüler	27	270,75	117,345
	Mittlere Fixationsdauer 50- 60s	Experten	16	264,60	113,260
		Schüler	27	220,75	113,128
Malaysia	Mittlere Fixationsdauer 0- 10s	Experten	18	249,26	60,381
		Schüler	29	221,36	42,067
	Mittlere Fixationsdauer 10- 20s	Experten	18	265,13	65,283
		Schüler	29	242,86	44,258
	Mittlere Fixationsdauer 20- 30s	Experten	18	271,46	86,705
		Schüler	29	241,02	52,714
	Mittlere Fixationsdauer 30- 40s	Experten	18	259,97	62,589
		Schüler	29	255,51	53,289
	Mittlere Fixationsdauer 40- 50s	Experten	18	271,17	66,363
		Schüler	29	253,09	56,656
	Mittlere Fixationsdauer 50- 60s	Experten	18	287,87	112,991
		Schüler	29	213,21	127,187

Tab. B.5: Ergebnisse des Levene-Tests für die mittlere Fixationsdauer je Zeitabschnitt und Satellitenbild

			Levene-Test der Varianzgleichheit	
Stimulus			**F**	**Signifikanz**
Aralsee	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,386	,129
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,043	,160
	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,279	,600
	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,872	,355
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,079	,780
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,007	,933
Grenzregion	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,967	,331
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,029	,865
	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,230	,634
	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,707	,405
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,167	,685
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,058	,810
Malaysia	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	3,436	,070
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	3,969	,052

	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich	1,424	,239
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich	,430	,515
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich	1,013	,320
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich	,303	,585
		Varianzen sind nicht gleich		

Tab. B.6: Ergebnisse des T-Tests für die mittlere Fixationsdauer je Zeitabschnitt und Satellitenbild

			T-Test für die Mittelwertgleichheit	
Stimulus			**Sig. (2-seitig)**	**Mittlere Differenz**
Aralsee	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich	,564	7,432
		Varianzen sind nicht gleich	,588	7,432
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich	,292	16,905
		Varianzen sind nicht gleich	,327	16,905
	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich	,769	6,254
		Varianzen sind nicht gleich	,756	6,254
	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich	,631	7,980
		Varianzen sind nicht gleich	,625	7,980
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich	,721	-8,210
		Varianzen sind nicht gleich	,705	-8,210
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich	,324	40,682
		Varianzen sind nicht gleich	,327	40,682
Grenzregion	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich	,138	22,334
		Varianzen sind nicht gleich	,171	22,334
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich	,776	5,033
		Varianzen sind nicht gleich	,780	5,033
	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich	,914	-1,554
		Varianzen sind nicht gleich	,917	-1,554

	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich	,343	-23,656
		Varianzen sind nicht gleich	,309	-23,656
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich	,373	-29,954
		Varianzen sind nicht gleich	,329	-29,954
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich	,226	43,852
		Varianzen sind nicht gleich	,229	43,852
Malaysia	Mittlere Fixationsdauer 0-10s	Varianzen sind gleich	,068	27,893
		Varianzen sind nicht gleich	,097	27,893
	Mittlere Fixationsdauer 10-20s	Varianzen sind gleich	,170	22,271
		Varianzen sind nicht gleich	,213	22,271
	Mittlere Fixationsdauer 20-30s	Varianzen sind gleich	,140	30,440
		Varianzen sind nicht gleich	,191	30,440
	Mittlere Fixationsdauer 30-40s	Varianzen sind gleich	,796	4,453
		Varianzen sind nicht gleich	,804	4,453
	Mittlere Fixationsdauer 40-50s	Varianzen sind gleich	,325	18,083
		Varianzen sind nicht gleich	,345	18,083
	Mittlere Fixationsdauer 50-60s	Varianzen sind gleich	,047	74,660
		Varianzen sind nicht gleich	,042	74,660

Tab. B.7: Mittelwerte und Standardabweichung für die Anzahl an Fixationen je Zeitabschnitt und Satellitenbild

Stimulus		Gruppe	N	Mittelwert	Standard-abweichung
Aralsee	Anzahl an Fixationen 0-10s	Experten	19	30,53	3,502
		Schüler	28	33,25	3,797
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Experten	19	29,95	4,390
		Schüler	28	31,50	4,623
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Experten	19	28,68	4,715
		Schüler	28	31,39	6,045
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Experten	19	29,84	4,574
		Schüler	28	30,04	8,280
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Experten	19	25,79	7,231
		Schüler	28	24,64	8,820
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Experten	19	12,74	9,409
		Schüler	27	11,41	9,488
Grenzregion	Anzahl an Fixationen 0-10s	Experten	16	30,75	3,624
		Schüler	27	31,93	4,269

	Anzahl an Fixationen 10-20s	Experten	16	29,56	4,195
		Schüler	27	29,59	4,948
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Experten	16	29,13	2,778
		Schüler	27	29,44	4,610
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Experten	16	28,69	4,222
		Schüler	27	28,33	5,602
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Experten	16	26,63	7,684
		Schüler	27	26,11	8,266
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Experten	16	20,38	8,732
		Schüler	26	17,15	9,164
Malaysia	Anzahl an Fixationen 0-10s	Experten	18	29,50	4,315
		Schüler	29	32,34	5,420
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Experten	18	27,28	3,461
		Schüler	29	30,10	4,262
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Experten	18	27,61	3,837
		Schüler	29	29,17	4,660
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Experten	18	27,39	3,806
		Schüler	29	28,14	4,249
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Experten	18	25,44	5,216
		Schüler	29	26,72	6,787
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Experten	18	17,44	8,813
		Schüler	26	12,92	9,658

Tab. B.8: Ergebniss des Levene-Tests für die Anzahl an Fixationen je Zeitabschnitt und Satellitenbild

			Levene-Test der Varianzgleichheit	
Stimulus			**F**	**Signifikanz**
Aralsee	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich	,064	,802
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich	,006	,937
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich	1,458	,234
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich	3,359	,073
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich	1,896	,175
		Varianzen sind nicht gleich		

	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,372	,545
Grenzregion	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,014	,906
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,003	,955
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,865	,179
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,131	,152
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,922	,343
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,115	,736
Malaysia	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,785	,380
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,429	,516
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,539	,118
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,007	,935
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,887	,351
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,518	,476

Tab. B.9: Ergebniss des T-Tests für die Anzahl an Fixationen je Zeitabschnitt und Satellitenbild

Stimulus			T-Test für die Mittelwertgleichheit	
			Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz
Aralsee	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich	,017	-2,724
		Varianzen sind nicht gleich	,015	-2,724
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich	,255	-1,553
		Varianzen sind nicht gleich	,251	-1,553
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich	,108	-2,709
		Varianzen sind nicht gleich	,092	-2,709
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich	,927	-,194
		Varianzen sind nicht gleich	,919	-,194
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich	,641	1,147
		Varianzen sind nicht gleich	,628	1,147
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich	,641	1,329
		Varianzen sind nicht gleich	,641	1,329
Grenzregion	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich	,362	-1,176
		Varianzen sind nicht gleich	,343	-1,176
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich	,984	-,030
		Varianzen sind nicht gleich	,983	-,030
	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich	,803	-,319
		Varianzen sind nicht gleich	,778	-,319
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich	,828	,354
		Varianzen sind nicht gleich	,816	,354
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich	,841	,514
		Varianzen sind nicht gleich	,838	,514
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich	,267	3,221
		Varianzen sind nicht gleich	,263	3,221
Malaysia	Anzahl an Fixationen 0-10s	Varianzen sind gleich	,066	-2,845
		Varianzen sind nicht gleich	,053	-2,845
	Anzahl an Fixationen 10-20s	Varianzen sind gleich	,022	-2,826
		Varianzen sind nicht gleich	,017	-2,826

	Anzahl an Fixationen 20-30s	Varianzen sind gleich	,240	-1,561
		Varianzen sind nicht gleich	,219	-1,561
	Anzahl an Fixationen 30-40s	Varianzen sind gleich	,544	-,749
		Varianzen sind nicht gleich	,534	-,749
	Anzahl an Fixationen 40-50s	Varianzen sind gleich	,498	-1,280
		Varianzen sind nicht gleich	,471	-1,280
	Anzahl an Fixationen 50-60s	Varianzen sind gleich	,121	4,521
		Varianzen sind nicht gleich	,116	4,521

Tab. B.10: Verweildauer, mittlere Fixationsdauer und gemittelte Anzahl an Fixationen je Area of Interest für das Satellitenbild Malaysia

AOI Name	Gruppe		N	Minimum	Maximum	Mittelwert
Felder 1	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	4059,8	1276,183
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	474,2	214,906
		Anzahl Fixationen	18	0	16	4,33
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	4475,5	961,017
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	475,1	178,897
		Anzahl Fixationen	29	0	16	3,55
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Felder 2	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	3284,6	16603,0	11832,517
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	182,4	411,6	260,478
		Anzahl Fixationen	18	15	59	40,39
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	3843,5	24624,2	11719,810
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	171,2	343,8	252,321
		Anzahl Fixationen	29	16	69	39,97
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Felder 3	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	2763,1	16204,9	9249,344
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	191,3	363,8	264,906
		Anzahl Fixationen	18	9	49	30,11
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	715,5	20730,7	6784,686
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	163,1	705,9	267,279
		Anzahl Fixationen	29	3	63	22,48

		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Plantage 1	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	133,0	3044,4	1172,917
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	116,6	549,3	264,539
		Anzahl Fixationen	18	1	9	4,28
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	5806,2	1425,721
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	486,6	235,031
		Anzahl Fixationen	29	0	17	4,45
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Plantage 2	Experten	mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	5207,8	1882,717
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	590,5	238,928
		Anzahl Fixationen	18	0	13	6,44
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	4526,2	1387,152
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	659,9	202,438
		Anzahl Fixationen	29	0	18	5,59
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Plantage 3	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	5958,2	17020,0	11707,411
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	190,2	432,1	272,222
		Anzahl Fixationen	18	26	49	37,56
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	5791,3	16802,5	12279,507
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	159,6	366,4	245,538
		Anzahl Fixationen	29	23	65	43,55
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 1	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	964,9	359,600
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	482,4	149,933
		Anzahl Fixationen	18	0	4	1,50
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	848,8	220,055
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	848,8	150,914
		Anzahl Fixationen	29	0	3	,90
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 2	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	3095,9	1025,167
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	504,9	245,783
		Anzahl Fixationen	18	0	9	3,67
		Gültige Werte (Listenweise)	18			

	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	3543,2	1122,221
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	316,1	201,897
		Anzahl Fixationen	29	0	13	4,45
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 3	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	1481,2	610,228
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	549,3	204,911
		Anzahl Fixationen	18	,0	7	2,22
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	3577,1	810,493
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	881,8	229,921
		Anzahl Fixationen	29	0	10	2,59
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 4	Experten	mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	1946,4	437,161
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	549,3	180,800
		Anzahl Fixationen	18	0	4	1,33
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	1497,3	165,210
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	349,4	58,179
		Anzahl Fixationen	29	0	4	,66
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 5	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	1863,2	1297,0	6108,672
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	146,3	420,6	232,594
		Anzahl Fixationen	18	10	43	22,56
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	2063,0	19662,6	7434,786
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	149,7	327,1	232,297
		Anzahl Fixationen	29	10	75	27,34
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Wald 6	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	1863,7	137,728
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	915,2	85,033
		Anzahl Fixationen	18	0	2	,17
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	449,1	21,800
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	199,4	13,190
		Anzahl Fixationen	29	0	2	,90
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Weißraum	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	2013,5	962,100
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	453,3	249,533
		Anzahl Fixationen	18	0	7	3,61

		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	277,6	871,917
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	848,8	263,938
		Anzahl Fixationen	29	0	13	4,45
		Gültige Werte (Listenweise)	29			

Tab. B.11: Mittelwerte und Standardabweichung der Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Malaysia

AOI Name		Gruppe	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Standard-fehler des Mittelwertes
Felder 1	Verweildauer [ms]	Experten	18	1276,183	1176,8768	277,3925
		Schüler	29	961,017	1294,1244	240,3129
Felder 2	Verweildauer [ms]	Experten	18	11832,517	3322,9097	783,2173
		Schüler	29	11719,810	4664,7911	866,2300
Felder 3	Verweildauer [ms]	Experten	18	9249,344	3535,8711	833,4128
		Schüler	29	6784,686	4231,2583	785,7249
Plantage 1	Verweildauer [ms]	Experten	18	1172,917	751,9845	177,2444
		Schüler	29	1425,721	1511,5449	280,6868
Plantage 2	Verweildauer [ms]	Experten	18	1882,717	1338,7652	315,5500
		Schüler	29	1387,152	1297,3886	240,9190
Plantage 3	Verweildauer [ms]	Experten	18	11707,411	3542,0790	834,8760
		Schüler	29	12279,507	2853,0982	529,8070
Wald 1	Verweildauer [ms]	Experten	18	359,600	343,7330	81,0186
		Schüler	29	220,055	259,6616	48,2180
Wald 2	Verweildauer [ms]	Experten	18	1025,167	868,2066	204,6382
		Schüler	29	1122,221	994,5766	184,6882
Wald 3	Verweildauer [ms]	Experten	18	610,228	564,4120	133,0332
		Schüler	29	810,493	932,4297	173,1478
Wald 4	Verweildauer [ms]	Experten	18	437,161	555,6264	130,9624
		Schüler	29	165,210	354,8605	65,8959
Wald 5	Verweildauer [ms]	Experten	18	6108,672	3143,1688	740,8520
		Schüler	29	7434,786	4400,1076	817,0795
Wald 6	Verweildauer [ms]	Experten	18	137,728	454,4327	107,1108
		Schüler	29	21,800	88,9290	16,5137
Weißraum	Verweildauer [ms]	Experten	18	962,100	610,1055	143,8032
		Schüler	29	871,917	651,7735	121,0313

Tab. B.12: Ergebnisse des Levene-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Malaysia

			Levene-Test der Varianzgleichheit	
AOI Name			**F**	**Signifikanz**
Felder 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,000	,997
		Varianzen sind nicht gleich		
Felder 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,087	,155
		Varianzen sind nicht gleich		
Felder 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,375	,543
		Varianzen sind nicht gleich		
Plantage 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,640	,111
		Varianzen sind nicht gleich		
Plantage 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,021	,884
		Varianzen sind nicht gleich		
Plantage 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,772	,190
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	5,244	,027
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,384	,539
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,633	,112
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 4	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	6,905	,012
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 5	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,915	,173
		Varianzen sind nicht gleich		
Wald 6	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	8,004	,007
		Varianzen sind nicht gleich		
Weißraum	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,092	,763
		Varianzen sind nicht gleich		

Tab. B.13: Ergebnisse des T-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Malaysia

			T-Test für die Mittelwertgleichheit		
AOI Name			**T**	**df**	**Sig. (2-seitig)**
Felder 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,840	45	,406
		Varianzen sind nicht gleich	,859	38,818	,396
Felder 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,089	45	,929
		Varianzen sind nicht gleich	,097	44,028	,924
Felder 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,062	45	,045
		Varianzen sind nicht gleich	2,152	40,990	,037
Plantage 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	-,659	45	,513
		Varianzen sind nicht gleich	-,762	43,413	,450
Plantage 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,258	45	,215
		Varianzen sind nicht gleich	1,248	35,311	,220
Plantage 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	-,609	45	,546
		Varianzen sind nicht gleich	-,579	30,451	,567
Wald 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,580	45	,121
		Varianzen sind nicht gleich	1,480	28,969	,150
Wald 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	-,341	45	,735
		Varianzen sind nicht gleich	-,352	39,900	,727
Wald 3	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	-,821	45	,416
		Varianzen sind nicht gleich	-,917	44,992	,364
Wald 4	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,052	45	,046
		Varianzen sind nicht gleich	1,855	25,698	,075
Wald 5	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	-1,113	45	,272
		Varianzen sind nicht gleich	-1,202	43,991	,236
Wald 6	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,342	45	,186
		Varianzen sind nicht gleich	1,070	17,812	,299
Weißraum	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,472	45	,639
		Varianzen sind nicht gleich	,480	38,029	,634

Tab. B.14: Grenzwerte für die Verweildauer, mittlere Fixationsdauer und gemittelte Anzahl an Fixationen je Area of Interest für das Satellitenbild Aralsee

AOI Name	Gruppe		N	Minimum	Maximum
Aralsee 08 II	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	2079,1
		Anzahl Fixationen	18	,0	7,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	471,4
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	3094,7
		Anzahl Fixationen	29	,0	12,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	648,9
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Aralsee 02	Experten	Verweildauer [ms]	18	199,5	7769,8
		Anzahl Fixationen	18	1,0	22,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	114,6	404,5
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	548,8	10652,0
		Anzahl Fixationen	29	2,0	41,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	133,2	584,4
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Aralsee 02 II	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	2578,5
		Anzahl Fixationen	18	,0	11,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	531,6
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	2312,8
		Anzahl Fixationen	29	,0	12,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	357,8
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Aralsee 08	Experten	Verweildauer [ms]	18	898,0	6954,3
		Anzahl Fixationen	18	3,0	27,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	113,0	357,7
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	9217,5
		Anzahl Fixationen	29	,0	21,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	496,3
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Kleiner Aralsee 02	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	1846,6
		Anzahl Fixationen	18	,0	8,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	432,6
		Gültige Werte (Listenweise)	18		

	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	2711,2
		Anzahl Fixationen	29	,0	12,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	698,9
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Kleiner Aralsee 08	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	3610,9
		Anzahl Fixationen	18	,0	12,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	499,0
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	1697,9
		Anzahl Fixationen	29	,0	8,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	565,7
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Plantagen 02	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	3177,9
		Anzahl Fixationen	18	,0	11,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	375,5
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	4524,6
		Anzahl Fixationen	29	,0	16,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	432,6
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Plantagen 08	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	3511,4
		Anzahl Fixationen	18	,0	15,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	312,4
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	3394,5
		Anzahl Fixationen	29	,0	13,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	1098,0
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Salz- und Halbwüste 02	Experten	Verweildauer [ms]	36	,0	17037,6
		Anzahl Fixationen	36	,0	60,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	36	,0	313,5
		Gültige Werte (Listenweise)	36		
	Schüler	Verweildauer [ms]	58	,0	17481,4
		Anzahl Fixationen	58	,0	78,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	58	,0	650,1
		Gültige Werte (Listenweise)	58		
Salz- und Halbwüste 08	Experten	Verweildauer [ms]	36	,0	19267,5
		Anzahl Fixationen	36	,0	57,0
			36	,0	582,4

		Mittl. Fixationsdauer [ms]	36		
		Gültige Werte (Listenweise)			
	Schüler	Verweildauer [ms]	58	,0	19116,9
		Anzahl Fixationen	58	,0	60,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	58	,0	684,4
		Gültige Werte (Listenweise)	58		
Waldschutzstreifen 02	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	2994,3
		Anzahl Fixationen	18	,0	8,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	454,7
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	4406,4
		Anzahl Fixationen	29	,0	20,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	727,9
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Waldschutzstreifen 08	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	2162,7
		Anzahl Fixationen	18	,0	6,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	466,4
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	2777,0
		Anzahl Fixationen	29	,0	15,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	782,0
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Waldschutzstreifen II 02	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	5462,7
		Anzahl Fixationen	18	,0	22,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	349,4
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	3377,3
		Anzahl Fixationen	29	,0	14,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	461,0
		Gültige Werte (Listenweise)	29		
Waldschutzstreifen II 08	Experten	Verweildauer [ms]	18	,0	6922,1
		Anzahl Fixationen	18	,0	27,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	474,1
		Gültige Werte (Listenweise)	18		
	Schüler	Verweildauer [ms]	29	,0	2411,7
		Anzahl Fixationen	29	,0	10,0
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	291,9
		Gültige Werte (Listenweise)	29		

Tab. B.15: Mittelwerte und Standardabweichung der Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Aralsee

AOI Name		Gruppe	N	Mittelwert	Standard-abweichung
Aralsee 08 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	823,822	734,3866
		Schüler	29	1288,993	880,6018
	Anzahl Fixationen	Experten	18	3,111	2,1933
		Schüler	29	5,310	3,6066
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	201,217	145,1600
		Schüler	29	217,531	119,2671
Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	3631,561	2312,4332
		Schüler	29	4702,252	3027,6353
	Anzahl Fixationen	Experten	18	13,611	6,6078
		Schüler	29	17,655	10,3588
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	234,356	79,2624
		Schüler	29	245,938	84,6173
Aralsee 02 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	333,556	656,3095
		Schüler	29	509,172	761,5448
	Anzahl Fixationen	Experten	18	1,333	2,7008
		Schüler	29	2,379	3,4477
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	93,978	145,5089
		Schüler	29	126,452	107,1638
Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	3028,828	2080,4345
		Schüler	29	2462,800	2072,0922
	Anzahl Fixationen	Experten	18	10,889	6,2956
		Schüler	29	9,207	5,2806
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	256,122	79,2573
		Schüler	29	231,338	99,6099
Kleiner Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	509,233	635,6137
		Schüler	29	693,814	848,9422
	Anzahl Fixationen	Experten	18	2,222	2,5101
		Schüler	29	2,862	3,4613
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	144,544	131,7021
		Schüler	29	141,710	179,5464
Kleiner Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	760,728	1025,5746
		Schüler	29	403,124	541,1729
	Anzahl Fixationen	Experten	18	2,722	3,4438
		Schüler	29	1,897	2,6905
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	181,161	167,3434
		Schüler	29	123,179	136,2904
Plantagen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	1186,700	1012,9259
		Schüler	29	1396,283	1344,7749
	Anzahl Fixationen	Experten	18	4,889	3,7241
		Schüler	29	5,759	4,7408
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	186,850	110,6007

		Schüler	29	184,862	104,4629
Plantagen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	1287,750	1104,6963
		Schüler	29	1048,941	1043,4827
	Anzahl Fixationen	Experten	18	5,222	4,1381
		Schüler	29	3,966	4,0398
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	183,061	99,6635
		Schüler	29	221,262	235,7045
Salz- und Halbwüste 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	36	5183,933	4077,0877
		Schüler	58	5449,390	4415,0409
	Anzahl Fixationen	Experten	36	20,389	15,0338
		Schüler	58	21,224	17,2057
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	36	201,531	76,3534
		Schüler	58	217,636	109,0197
Salz- und Halbwüste 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	36	6147,203	4655,3350
		Schüler	58	6156,014	4964,9243
	Anzahl Fixationen	Experten	36	23,472	15,2437
		Schüler	58	22,966	16,6880
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	36	220,008	105,5635
		Schüler	58	226,274	90,9883
Waldschutzstreifen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	883,372	781,2285
		Schüler	29	1322,048	1162,1490
	Anzahl Fixationen	Experten	18	3,444	2,4064
		Schüler	29	5,862	4,9622
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	210,444	109,5595
		Schüler	29	206,821	141,6344
Waldschutzstreifen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	889,267	643,6333
		Schüler	29	734,610	639,2930
	Anzahl Fixationen	Experten	18	3,333	2,0864
		Schüler	29	3,241	3,1013
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	224,278	123,9402
		Schüler	29	202,738	149,1144
Waldschutzstreifen II 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	1179,594	1230,6914
		Schüler	29	918,079	1035,4446
	Anzahl Fixationen	Experten	18	5,167	4,8658
		Schüler	29	3,586	3,9144
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	188,344	91,3354
		Schüler	29	163,524	132,4034
Waldschutzstreifen II 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Experten	18	1207,928	1679,5298
		Schüler	29	712,066	681,3402
	Anzahl Fixationen	Experten	18	5,111	6,3791
		Schüler	29	3,448	3,1463
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	177,111	132,2670
		Schüler	29	148,859	95,5792

Tab. B.16: Ergebnisse des Levene-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Aralsee

AOI Name			Levene-Test der Varianzgleichheit	
			F	Signifikanz
Aralsee 08 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,546	,464
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	4,634	,037
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,258	,140
		Varianzen sind nicht gleich		
Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,064	,308
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	3,047	,088
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,211	,649
		Varianzen sind nicht gleich		
Aralsee 02 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,230	,273
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	1,790	,188
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,379	,246
		Varianzen sind nicht gleich		
Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,113	,297
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,961	,332
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,131	,719
		Varianzen sind nicht gleich		
Kleiner Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	1,378	,247
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	1,870	,178
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,485	,490
		Varianzen sind nicht gleich		

Kleiner Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	5,658	,022
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,138	,292
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,719	,401
Plantagen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,742	,194
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,712	,197
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,027	,871
Plantagen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,066	,798
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,029	,866
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	3,365	,073
Salz- und Halbwüste 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,866	,355
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,672	,414
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,866	,354
Salz- und Halbwüste 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,463	,498
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,249	,619
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,965	,328

Waldschutzstreifen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	6,513	,014
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	8,216	,006
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,048	,828
Waldschutzstreifen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,163	,688
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,546	,464
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,026	,873
Waldschutzstreifen II 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,098	,756
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,005	,946
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,821	,100
Waldschutzstreifen II 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	4,988	,031
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	2,815	,100
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,724	,196

Tab. B.17: Ergebnisse des T-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Aralsee

AOI Name			T-Test für die Mittelwertgleichheit df	T-Test für die Mittelwertgleichheit Sig. (2-seitig)
Aralsee 08 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,068
		Varianzen sind nicht gleich	41,038	,058
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,024
		Varianzen sind nicht gleich	44,996	,013
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,677
		Varianzen sind nicht gleich	30,934	,692
Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,206
		Varianzen sind nicht gleich	42,921	,179
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,147
		Varianzen sind nicht gleich	44,937	,109
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,643
		Varianzen sind nicht gleich	38,010	,638
Aralsee 02 II	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,423
		Varianzen sind nicht gleich	40,229	,407
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,280
		Varianzen sind nicht gleich	42,428	,253
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,384
		Varianzen sind nicht gleich	28,418	,420
Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,368
		Varianzen sind nicht gleich	36,076	,370
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,329
		Varianzen sind nicht gleich	31,448	,352
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,376
		Varianzen sind nicht gleich	42,103	,351
Kleiner Aralsee 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,432
		Varianzen sind nicht gleich	43,276	,401
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,500
		Varianzen sind nicht gleich	43,781	,468
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,954

		Varianzen sind nicht gleich	43,610	,951
Kleiner Aralsee 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,124
		Varianzen sind nicht gleich	22,967	,185
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,364
		Varianzen sind nicht gleich	29,731	,393
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,201
		Varianzen sind nicht gleich	30,718	,225
Plantagen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,573
		Varianzen sind nicht gleich	43,172	,547
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,512
		Varianzen sind nicht gleich	42,371	,488
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,951
		Varianzen sind nicht gleich	34,598	,952
Plantagen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,460
		Varianzen sind nicht gleich	34,600	,467
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,310
		Varianzen sind nicht gleich	35,516	,314
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,519
		Varianzen sind nicht gleich	40,869	,446
Salz- und Halbwüste 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	92	,771
		Varianzen sind nicht gleich	78,844	,767
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	92	,811
		Varianzen sind nicht gleich	81,831	,805
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	92	,440
		Varianzen sind nicht gleich	90,571	,403
Salz- und Halbwüste 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	92	,993
		Varianzen sind nicht gleich	77,994	,993
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	92	,883
		Varianzen sind nicht gleich	79,445	,880
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	92	,761
		Varianzen sind nicht gleich	66,092	,769
Waldschutzstreifen 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,165
		Varianzen sind nicht gleich	44,640	,129

	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,060
		Varianzen sind nicht gleich	43,057	,031
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,927
		Varianzen sind nicht gleich	42,679	,922
Waldschutzstreifen 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,426
		Varianzen sind nicht gleich	35,999	,427
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,912
		Varianzen sind nicht gleich	44,634	,904
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,611
		Varianzen sind nicht gleich	41,118	,595
Waldschutzstreifen II 02	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,438
		Varianzen sind nicht gleich	31,525	,458
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,227
		Varianzen sind nicht gleich	30,420	,253
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,489
		Varianzen sind nicht gleich	44,404	,452
Waldschutzstreifen II 08	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,163
		Varianzen sind nicht gleich	20,520	,246
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,239
		Varianzen sind nicht gleich	22,214	,314
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,400
		Varianzen sind nicht gleich	28,019	,438

Tab. B.18: Grenzwerte für die Verweildauer, mittlere Fixationsdauer und gemittelte Anzahl an Fixationen je Area of Interest für das Satellitenbild Grenzregion

AOI Name	Gruppe		N	Minimum	Maximum	Mittelwert
Ebene Kasachstan 1	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	997,9	9600,3	4129,967
		Anzahl Fixationen	18	6	29	16,44
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	144,3	294,3	203,033
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	532,2	8918,0	4106,041
		Anzahl Fixationen	29	4	37	15,28
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	124,7	411,9	239,614
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Ebene Kasachstan 2	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	3528,9	1911,956
		Anzahl Fixationen	18	0	16	7,61
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	371,4	233,089
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	8352,1	1644,862
		Anzahl Fixationen	29	0	22	6,69
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	358,5	212,083
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Gebirge Kasachstan 1	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	1098,1	369,322
		Anzahl FixationenMittl.	18	0	5	1,78
		Fixationsdauer [ms]	18	,0	582,5	137,750
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	2446,4	452,921
		Anzahl FixationenMittl.	29	0	11	2,10
		Fixationsdauer [ms]	29	,0	449,3	130,721
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Gebirge Kasachstan 2	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	2279,4	10664,5	5309,200
		Anzahl Fixationen	18	7	31	20,00
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	161,3	322,4	235,861
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	1562,9	10912,7	2471,5084
		Anzahl Fixationen	29	7	39	8,161
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	151,3	408,5	57,6878
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Grenzstreifen	Experten	Verweildauer [ms]	18	499,1	11747,2	4342,117
		Anzahl Fixationen	18	2	46	16,33
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	166,3	379,6	235,506
		Gültige Werte (Listenweise)	18			

	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	4792,6	1831,752
		Anzahl Fixationen	29	0	17	7,45
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	413,1	236,528
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Landwirtschaft China	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	9682,9	25574,6	19256,506
		Anzahl Fixationen	18	46	88	65,67
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	164,8	342,6	250,394
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	9339,0	26901,5	19826,562
		Anzahl Fixationen	29	27	91	65,67
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	177,8	463,3	263,628
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Landwirtschaft Kasachstan	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	,0	13276,1	6752,067
		Anzahl Fixationen	18	0	43	23,27
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	,0	391,0	238,700
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	11812,8	5627,831
		Anzahl Fixationen	29	0	42	20,83
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	349,3	219,372
		Gültige Werte (Listenweise)	29			
Siedlung China	Experten	Mittl. Verweildauer [ms]	18	1364,9	12916,5	3801,883
		Anzahl Fixationen	18	5	26	12,78
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	18	187,1	474,4	264,033
		Gültige Werte (Listenweise)	18			
	Schüler	Mittl. Verweildauer [ms]	29	,0	12961,1	5089,700
		Anzahl Fixationen	29	0	31	15,03
		Mittl. Fixationsdauer [ms]	29	,0	763,5	283,972
		Gültige Werte (Listenweise)	29			

Tab. B.19: Mittelwerte und Standardabweichung der Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Grenzregion

AOI Name		Gruppe	N	Mittelwert	Standardab-weichung
Ebene Kasachstan 1	Verweildauer [ms]	Experten	18	4129,967	2266,0979
		Schüler	29	4106,041	2317,5853
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	203,033	41,9127
		Schüler	29	239,614	57,3622
	Anzahl Fixationen	Experten	18	16,44	7,302
		Schüler	29	15,28	9,008
Ebene Kasachstan 2	Verweildauer [ms]	Experten	18	1911,956	1212,3168
		Schüler	29	1644,862	1573,8196
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	233,089	83,2213
		Schüler	29	212,083	78,8985
	Anzahl Fixationen	Experten	18	7,61	5,237
		Schüler	29	6,69	4,856
Gebirge Kasachstan 1	Verweildauer [ms]	Experten	18	369,322	370,1006
		Schüler	29	452,921	600,7409
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	137,750	149,3420
		Schüler	29	130,721	118,1373
	Anzahl Fixationen	Experten	18	1,78	1,833
		Schüler	29	2,10	2,691
Gebirge Kasachstan 2	Verweildauer [ms]	Experten	18	5309,200	2387,2918
		Sxhüler	29	6299,634	2472,5084
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	235,861	59,5086
		Schüler	29	236,983	57,6878
	Anzahl Fixationen	Experten	18	20,00	6,765
		Schüler	29	23,62	8,161
Grenzstreifen	Verweildauer [ms]	Experten	18	4342,117	3033,3513
		Schüler	28	1897,171	1009,6187
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	235,506	65,8968
		Schüler	28	244,975	68,2863
	Anzahl Fixationen	Experten	18	16,33	10,415
		Schüler	28	7,71	4,259
Landwirtschaft China	Verweildauer [ms]	Experten	18	19256,506	3870,5201
		Schüler	29	19836,562	5150,2952
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	250,394	55,8308
		Schüler	29	263,628	57,9880
	Anzahl Fixationen	Experten	18	65,67	12,984
		Schüler	29	64,62	17,097
Landwirtschaft Kasachstan	Verweildauer [ms]	Experten	18	6752,067	3563,4659
		Schüler	29	5627,831	3550,6190
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	238,700	87,8382
		Schüler	29	219,372	64,1150
	Anzahl Fixationen	Experten	18	23,17	12,050
		Schüler	29	20,83	12,870

Siedlung China	Verweildauer [ms]	Experten	18	3801,883	2774,0798
		Schüler	29	5089,700	3332,8770
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Experten	18	264,033	76,4866
		Schüler	29	283,972	135,8967
	Anzahl Fixationen	Experten	18	12,78	6,320
		Schüler	29	15,03	8,222

Tab. B.20: Ergebnisse des Levene-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Grenzregion

			Levene-Test der Varianzgleichheit	
AOI Name			**F**	**Signifikanz**
Ebene Kasachstan 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,009	,924
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,847	,362
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,416	,522
		Varianzen sind nicht gleich		
Ebene Kasachstan 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,018	,895
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,017	,897
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,624	,434
		Varianzen sind nicht gleich		
Gebirge Kasachstan 1	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	2,060	,158
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,271	,605
		Varianzen sind nicht gleich		
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	1,053	,310
		Varianzen sind nicht gleich		
Gebirge Kasachstan 2	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,230	,634
		Varianzen sind nicht gleich		
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,682	,413
		Varianzen sind nicht gleich		

	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,43611	,512
Grenzstreifen	Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	11,812	,001
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,121	,730
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	8,440	,006
Landwirtschaft China	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	4,629	,037
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,339	,536
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,629	,208
Landwirtschaft Kasachstan	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,075	,785
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,368	,248
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	,117	,734
Siedlung China	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,210	,277
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,595	,213
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,259	,268

Tab. B.21: Ergebnisse des T-Tests für die Verweildauer je Area of Interest für das Satellitenbild Grenzregion

AOI Name			T-Test für die Mittelwertgleichheit	
			Sig. (2-seitig)	df
Ebene Kasachstan 1	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,972	45
		Varianzen sind nicht gleich	,972	36,817
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,024	45
		Varianzen sind nicht gleich	,016	43,670
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,645	45
		Varianzen sind nicht gleich	,629	41,695
Ebene Kasachstan 2	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,542	45
		Varianzen sind nicht gleich	,517	42,760
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,389	45
		Varianzen sind nicht gleich	,397	34,702
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,542	45
		Varianzen sind nicht gleich	,551	34,089
Gebirge Kasachstan 1	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,599	45
		Varianzen sind nicht gleich	,558	44,999
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,859	45
		Varianzen sind nicht gleich	,867	30,021
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,654	45
		Varianzen sind nicht gleich	,624	44,526
Gebirge Kasachstan 2	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,183	45
		Varianzen sind nicht gleich	,181	37,169
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,949	45
		Varianzen sind nicht gleich	,950	35,320
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	,122	45
		Varianzen sind nicht gleich	,107	41,182
Grenzstreifen	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	,000	44
		Varianzen sind nicht gleich	,004	19,446
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	,644	44
		Varianzen sind nicht gleich	,642	37,362

	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	44	,000
		Varianzen sind nicht gleich	20,701	,003
Landwirtschaft China	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,683
		Varianzen sind nicht gleich	43,211	,663
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,445
		Varianzen sind nicht gleich	37,248	,441
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,825
		Varianzen sind nicht gleich	43,025	,814
Landwirtschaft Kasachstan	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,298
		Varianzen sind nicht gleich	36,087	,299
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,389
		Varianzen sind nicht gleich	28,228	,425
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,538
		Varianzen sind nicht gleich	38,023	,532
Siedlung China	Mittl. Verweildauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,178
		Varianzen sind nicht gleich	41,085	,160
	Mittl. Fixationsdauer [ms]	Varianzen sind gleich	45	,573
		Varianzen sind nicht gleich	44,698	,524
	Anzahl Fixationen	Varianzen sind gleich	45	,325
		Varianzen sind nicht gleich	42,800	,296