



**Universität
Zürich^{UZH}**

Geographisches Institut

Kartographie in den Neurowissenschaften

Evaluation kartographischer Designprinzipien bei der Hirnkartierung

GEO 511 Masterarbeit

Isabel Blatter

10-924-678

Betreuung

Prof. Dr. Sara I. Fabrikant

Co-Betreuung

Dr. Markus Christen (DSI, UZH)

Fakultätsvertretung

Prof. Dr. Sara I. Fabrikant

Geographisches Institut Zürich

Winterthurerstrasse 190

8057 Zürich, Schweiz

29. September 2017

Zusammenfassung

Diese Arbeit nimmt eine Evaluation kartographischer Designprinzipien in der Hirnkartierung, gestützt auf eine Studie mit 35 Testpersonen, vor. Dabei wurden kartographische Designprinzipien der Farbdarstellung auf Visualisierungen der funktionellen Bildgebung angewandt und die Interpretation und Informationsaufnahme der die Visualisierung betrachtenden Personen analysiert. Dazu wurden Visualisierungen aus der funktionellen Bildgebung, welche 5 verschiedene Hirnaktivitätsstufen zeigen, mit vier verschiedenen Farbskalen dargestellt. Zwei dieser Farbskalen werden typischerweise in der funktionellen Bildgebung verwendet, und zwei sind klassische Farbskalen, welche in der Kartographie priorisiert werden. Die Testpersonen lösten zu diesen Visualisierungen 3 verschiedene Aufgaben und ihre Augenbewegungen wurden währenddem von einem Eye-Tracking Gerät aufgezeichnet. Die Antworten und die Augenbewegungen der Testpersonen wurden anschliessend auf ihre Effektivität, Effizienz, Variabilität und Informationsaufnahme in Abhängigkeit der jeweiligen Farbskala und der Erfahrung der Testpersonen im Bereich funktionellen Bildgebung untersucht. Die Resultate zeigen, dass die kartographischen Designprinzipien der Farbdarstellung wie auch die Erfahrung der Testpersonen Einfluss auf die Effizienz, Variabilität und Informationsaufnahme haben. Die verschiedenen Farbskalen hatten hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die Effektivität der Testpersonen. Die Analyse der Resultate der im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Studie zeigen, dass die funktionelle Bildgebung durch Beachtung der kartographischen Designprinzipien mindestens teilweise verbessert werden könnte, indem primär die Effizienz (auch visuell) gesteigert wird. Insbesondere die Verwendung einer divergierenden Farbskala ist vielversprechend. Schliesslich zeigt die Studie auch auf, dass eine Standardisierung von Methoden der Datenvisualisierung mit Farbe für eine optimale Kommunikation von Informationen hilfreich ist.

Danksagung

Diese Masterarbeit profitierte massgeblich von der engagierten Betreuung durch Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant vom Geographischen Institut der Universität Zürich und Dr. Markus Christen von der UZH Digital Society Initiative (DSI). Bei ihnen bedanke ich mich für die stets gewährte Unterstützung und die wertvollen Anregungen. Dank gebührt auch Dr. Arzu Çöltekin, Annina Brugger und Martin Zahner für ihren technischen Support und die konstruktiven Gespräche.

Ein grosses Dankeschön geht an alle Teilnehmenden der Pilot- und Hauptstudie. Ohne deren bereitwillige unentgeltliche Zurverfügungstellung ihrer Zeit hätte die dieser Arbeit zugrundeliegende Studie nicht durchgeführt werden können.

Inhalt

Zusammenfassung	2
Danksagung	4
Inhalt	6
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	12
1 Einleitung	14
2 Forschungsfragen	16
2.1 Forschungsfrage 1	16
2.2 Forschungsfrage 2	16
2.3 Forschungsfrage 3	16
2.4 Forschungsfrage 4	17
2.5 Forschungsfrage 5	17
3 Forschungskontext	18
3.1 Designprinzipien in der Kartographie	18
3.1.1 Visuelle Variablen	19
3.1.2 Farbskalen	21
3.2 Designprinzipien in den Neurowissenschaften	28
3.3 Visuelle Analyse	31
3.3.1 Bottom-Up Effekte	32
3.3.2 Top-Down Effekte	33
3.3.3 Eye-Tracking	33
4 Methodik	36
4.1 Testpersonen	36
4.2 Hilfsmittel	36
4.2.1 Eye-Tracking	37
4.2.2 Umfrage	37
4.3 Vorfragebogen	37
4.4 Hauptexperiment	38
4.4.1 Aufgabe 1	41
4.4.2 Aufgabe 2	42
4.4.3 Aufgabe 3	43
4.4.4 Schlussfrage	44
4.5 Experimentdesign	44
4.5.1 Unabhängige Variable	46

4.5.2	Abhängige Variablen.....	46
4.6	Statistik.....	50
5	Resultate.....	52
5.1	Vorabfragebogen.....	52
5.2	Vertrauen.....	54
5.3	Aufgabe 1.....	54
5.3.1	Bewertung.....	55
5.3.2	Variabilität.....	56
5.3.3	Effizienz.....	57
5.3.4	Eye-Tracking.....	57
5.4	Aufgabe 2.....	61
5.4.1	Variabilität.....	62
5.4.2	Effektivität.....	62
5.4.3	Effizienz.....	63
5.4.4	Eye-Tracking.....	63
5.4.5	Gaze-Plots.....	68
5.5	Aufgabe 3.....	70
5.5.1	Variabilität.....	70
5.5.2	Effektivität.....	71
5.5.3	Effizienz.....	72
5.5.4	Eye-Tracking.....	74
6	Diskussion.....	82
6.1	Forschungsfragen.....	82
6.1.1	Forschungsfrage 1.....	82
6.1.2	Forschungsfrage 2.....	83
6.1.3	Forschungsfrage 3.....	84
6.1.4	Forschungsfrage 4.....	87
6.1.5	Forschungsfrage 5.....	89
6.2	Hauptforschungsfrage.....	90
6.3	Limitationen.....	91
7	Fazit und Ausblick.....	96
8	Referenzen.....	98
9	Anhang.....	104
	Persönliche Erklärung.....	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kommunikationsmodell nach Slocum u.a. (2009).....	18
Abbildung 2: Beispiele für Farbskalen Farbton, Farbsättigung und Farbhelligkeit (White, Slocum und McDermott, 2017).....	21
Abbildung 3: Räumliche Kontrast-Sensitivitätsfunktion. Frequenz nimmt gegen rechts zu und der Kontrast nach unten zu. Details sind in a) bei viel tieferem Kontrast sichtbar als bei b) (Borland und Taylor, 2007).	23
Abbildung 4: Vier verschiedene Datensets dargestellt mit unterschiedlichen Farbskalen. a) spektrale Farbskala, b) sequentielle Farbskala Schwarz-Grau-Weiss c) sequentielle Farbskala mit Schwarz-Rot-Gelb (Schwarzkörper Radiation) d) divergierende Farbskala Grün-Rot (Borland und Taylor, 2007).....	24
Abbildung 5: Hirnkarte aus Sicht einer Person mit der Farbfehlsichtigkeit «Deutanopia» links und aus Sicht einer Person ohne Fehlsichtigkeit. Erstellt mit Hilfe der Software ColorOracle (angepasste Darstellungen aus Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015))	25
Abbildung 6: Jede Zeile zeigt 3 verschiedene Visualisierungen des gleichen Datensets. In der ersten Spalte wie die Daten «wirklich» aussehen, in der zweiten Spalte mit einer spektralen Farbskala und in der dritten Spalte mit einer Farbskala basierend auf der räumlichen Frequenz und der visuellen Verarbeitung (Rogowitz und Treinish, 1998).	27
Abbildung 7: Visualisierung von MRI-Daten mit verschiedenen Farbskalen (Rogowitz und Treinish, 1996).	30
Abbildung 8: Verwendete Farbskalen in der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant. 1) Spektrale Farbskala, 2) divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot, 3) sequentielle Farbskala Grün, 4) spektrale Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (aus (Fabrikant, 2016)).....	31
Abbildung 9: Eye Tracking Labor mit Tobii System (eigene Aufnahme).	37
Abbildung 10: a) Ishihara-Farbtabelle zur Prüfung der Farbwahrnehmung. Eine Person mit normaler Farbwahrnehmung sieht dabei die «74». Eine Person mit einer Farbfehlsichtigkeit die Variante b), wobei die «74» nicht erkennbar ist (aus (Goldstein, 2009)).....	38
Abbildung 11: Verwendete Farbskalen: 1) sequentielle Farbskala blau (B), 2) divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot (BWR), 3) spektrale Farbskala (S), 4) Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (RG) (eigene Darstellung).....	39
Abbildung 12: Typische Hirnaktivitätsstadien in der Neurowissenschaft. Dargestellt mit der divergierenden Farbskala BWR sowie einer Legende, welche den Glukoseverbrauch angibt.	41
Abbildung 13: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 1. Visualisierung eines gesunden Gehirns in der sequentiellen Farbskala Blau dargestellt.	42

Abbildung 14: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 2. Visualisierung eines Gehirns mit minimalem Bewusstsein in der Farbskala RG dargestellt.	43
Abbildung 15: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 3. Locked-In Stadium visualisiert mit der spektralen Farbskala.	44
Abbildung 16: Experimentdesign (eigene Graphik).....	45
Abbildung 17: AOI für die Analyse der Augenbewegung. AOI 1: Hirnkarte, AOI 2: Legende.....	48
Abbildung 18: Rückmeldungen der 15 Personen aus der Gruppe «Experten» bezüglich Erfahrung (Mehrfachnennungen möglich).	53
Abbildung 19: Auswertung Vorfragebogen Präferenz, Auswahl der Farbskala vor und nach dem Experiment.	53
Abbildung 20: Zustimmung zur Aussage, dass eine hirntote Person tot ist.	54
Abbildung 21: Bewertung der Testpersonen je Farbskala für Aufgabe 1 (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).55	
Abbildung 22: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert je Farbskala; B: Blau, S: Spektral, BWR: Blau-Weiss-Rot, RG: Rot-Gelb, (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).....	56
Abbildung 23: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Gruppe (Mittelwert, ± 2 Standardfehler). ..	57
Abbildung 24: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der Gesamtbetrachtungszeit je Gruppen (Mittelwert in %, ± 2 Standardfehler).	58
Abbildung 25: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler). 59	
Abbildung 26: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala und Gruppe in s (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	60
Abbildung 27: Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der Gesamtbetrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala und Gruppe in % (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	61
Abbildung 28: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert der Antwort je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	62
Abbildung 29: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Farbskala in Sekunden (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	64
Abbildung 30: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Gruppe in Sekunden (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	64
Abbildung 31: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	65
Abbildung 32: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala und Gruppe. (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	66
Abbildung 33: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler). 67	

Abbildung 34: Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	68
Abbildung 35: Gazeplots der Hirnkarten mit normalem Stadium aus Aufgabe 2. a) sequentielle Farbskala B, b) spektrale Farbskala S, c) divergierende Farbskala BWR, d) Schwarzkörperstrahlung Farbskala RG.	69
Abbildung 36: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert der Antworten der Aufgabe 3 je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	70
Abbildung 37: Variabilität der Antworten je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	71
Abbildung 38: Antwortzeit in Aufgabe 3 je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	73
Abbildung 39: Effizienz der Antworten der Aufgabe 3 je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	74
Abbildung 40: Durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	75
Abbildung 41: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte in % je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	76
Abbildung 42: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte je Farbskala und Gruppe in % (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	76
Abbildung 43: Durchschnittliche Anzahl Betrachtungen der Hirnkarte je Farbskala.	77
Abbildung 44: Durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	78
Abbildung 45: Totale Betrachtungszeit der Hirnkarte je Farbskala und Gruppe (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	79
Abbildung 46: Anzahl Betrachtungen der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	79
Abbildung 47: Anzahl Betrachtungen der Legende je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).	80
Abbildung 48: Farbskalen für schwarzen Hintergrund von CARTO und die Farbskala BWR aus der Studie auf schwarzem Hintergrund (eigene Darstellung).....	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Effektivität der visuellen Variablen für die Skalenniveaus bei räumlichen Phänomenen (angepasste Darstellung nach Slocum u.a. (2009) und MacEachren (1994a); S=Schlecht, M=Mittelmässig, G=Gut.....	20
Tabelle 4.1: Auswertungsschlüssel für die Eye-Tracking Resultate.	48
Tabelle 5.1 Variabilität der Antworten der Aufgabe 2 je Farbskala und Gruppe.....	56
Tabelle 5.2: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende der Laien und Experten in Aufgabe 1 Mittelwert, ± 2 Standardfehler).....	60
Tabelle 5.3: Effektivität der Antworten der Experten und Laien in Aufgabe 3.	72

1 Einleitung

Quantitative Daten werden, mindestens seit den letzten zehn Jahren, bevorzugt mittels Farbe dargestellt (White, Slocum und McDermott, 2017). Rund 70% der quantitativen Karten, welche in geographischen Journals abgedruckt werden, sind farbig dargestellt, und rund ein Drittel dieser Karten verwenden spektrale Farbskalen (White, Slocum und McDermott, 2017). Gemäss Borland und Taylor (2007) ist der Anteil der spektralen Farbskalen sogar rund 50%. Die Favorisierung der Darstellung quantitativer Daten unter Verwendung spektraler Farbskalen findet auch in anderen Forschungsgebieten statt, so z.B. in der funktionalen Bildgebung (Christen *u. a.*, 2013). Unter funktioneller Bildgebung wird die Untersuchung des Nervensystems mittels einem bildgebenden Verfahren wie der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) oder Magnetresonanz-Tomographie (MRT) verstanden. Dabei werden die Daten visuell mit ihrer physikalisch-räumlichen Relation dargestellt und können in einem breiteren Blickwinkel auch als «Karten» betrachtet werden (vergl. Goldstone, Pestilli und Börner, 2015). Bei Visualisierungen von Bereichen des Hirns, kann daher von Hirnkarten gesprochen werden (abgeleitet vom engl. *brain maps*). Die Farbe wird dabei als Variable für die Unterschiede in der Aktivität von Hirnregionen verwendet.

Die Farbe als visuelle Variable basiert auf dem Konzept von Jacques Bertin (1983, 2011), welches die Verwendung von wahrgenommenen Unterschieden verschiedener Symbole verwendet, um Unterschiede in Daten zu zeigen. Die drei wahrgenommenen Unterschiede der Farbe sind der Ton, die Sättigung und die Helligkeit (Brewer, 1994), welche die drei verschiedenen visuellen Variablen der Farbe bilden. Dieses Konzept bildet eine Grundlage für die kartographischen Designprinzipien der Farbe, welche in der Kartographie fest verankert sind. Dabei werden zum Beispiel die Struktur der Daten in die Wahl der Farbdarstellung miteinbezogen (vergl. Slocum *u. a.*, 2009). Auch Farbassoziationen, wie z.B. Rot als Warnfarbe, werden Beachtung geschenkt. Eine weitere wichtige Konvention ist «je dunkler desto mehr»; Grössere Datenwerte werden daher mit dunklerem Farbwert dargestellt, als tiefere Werte (Brewer, 1994). In der funktionellen Bildgebung werden typischerweise Farbskalen verwendet, welche den geographischen Designprinzipien nur bedingt entsprechen (Christen *u. a.*, 2013). Aktivitätsunterschiede werden bei Hirnkarten in einer Farbabfolge der spektralen Farben (Regenbogenfarben) oder einer Abfolge von Schwarz, Rot, Gelb und Weiss dargestellt, wobei Schwarz für geringe Aktivität und Weiss für höchste Aktivität kodiert wird. Die Verwendung einer spektralen Farbskala zur Darstellung der Aktivität von Hirnregionen erstaunt, da gemäss geographischen Grundsätzen bei Veränderung einer einzigen Variablen lediglich eine oder zwei Farben, in verschiedenen Abstufungen von Hell zu Dunkel, Anwendung finden sollten, da Helligkeitsabstufungen durch die betrachtende Person intuitiver als eine Zu- oder Abnahme verstanden werden, als verschiedene Farbtöne.

Verschiedene Forschungen haben die Wirkung von farbigen Visualisierungen mit jener von Graustufen-Bildern verglichen (Healey, 1996). Die vorliegende Arbeit soll sich hingegen nicht damit befassen, ob farbige Darstellungen in der Visualisierung von neurowissenschaftlichen Daten sinnvoll sind, sondern es soll untersucht werden, wie sich verschiedene Farbskalen auf die Interpretation der Darstellungen auswirken.

Die Forschung hat gezeigt, dass auch bei neurowissenschaftlichen Daten die Farbwahl der Darstellung einen Einfluss auf deren Interpretation hat (Christen, Brugger und Fabrikant, 2015, 2015). Diese Erkenntnis wird im Rahmen dieser Masterarbeit genauer untersucht. Dabei werden vier verschiedene Farbskalen beleuchtet und in einer Nutzerstudie geprüft, um die Performance der Visualisierung und der zugrundeliegenden Designprinzipien, bzw. Farbskalen, zu messen (vergl. Kosara *u. a.*, 2003). Der Fokus liegt einerseits auf der Dateninterpretation der betrachtenden Person in Abhängigkeit der Farbwahl der Visualisierung, und andererseits beim Prozess der Informationsaufnahme, um zu analysieren, wie das visuelle System der betrachtenden Person die Informationen aus der Visualisierung extrahiert (Montag, 1999). Daher werden neben den gängigen Untersuchungen der Effektivität, der Effizienz und der Variabilität der Antworten auch die Augenbewegung der teilnehmenden Personen analysiert. Weiter soll auch der Einfluss der Erfahrung und des Vorwissens einer die Visualisierung betrachtenden Person untersucht werden, damit das Ausmass des Effektes der Farbwahl abgeschätzt werden kann.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es, die Wichtigkeit von Designprinzipien im Prozess der Bildherstellung aufzuzeigen und so zu versuchen, die Qualität der neurowissenschaftlichen Darstellungen positiv zu beeinflussen.

2 Forschungsfragen

Diese Arbeit dreht sich um die Anwendung von geographischen Designprinzipien in den Neurowissenschaften. Die folgenden Forschungsfragen werden untersucht und sollen dabei die folgende Hauptfrage beantworten:

Wie beeinflussen die kartographischen Designprinzipien der Farbdarstellung die Dateninterpretation und die Informationsaufnahme bei der funktionellen Bildgebung?

Hypothese: Betrachtende können effizienter und effektiver (auch visuell) die Visualisierungen der funktionellen Bildgebung interpretieren, wenn diese nach kartographischen Designprinzipien aufgestellt wurde, als wenn die Visualisierung diese Prinzipien missachtet.

2.1 Forschungsfrage 1

Welche Rolle spielt die persönliche Einstellung zum Thema Hirntod sowie die verwendete Farbskala beim Vertrauen in die funktionelle Bildgebung?

Hypothese:

- Eine tiefe Zustimmung zur Aussage, dass hirntote Personen tot sind, geht einher mit weniger Vertrauen in Darstellungen hirntoter Gehirne.
- Testpersonen vertrauen einer ihnen bekannten Farbskala mehr, als einer ihnen unbekanntem.

2.2 Forschungsfrage 2

Welchen Einfluss hat die Wahl der Farbskala auf die Variabilität, Effektivität und Effizienz der Dateninterpretation in der funktionellen Bildgebung?

Hypothese: Die Variabilität wird bei den Visualisierungen, welche auf etablierten kartographischen Designprinzipien basieren, tiefer sein, als bei Visualisierungen, welche diese Prinzipien missachten. Zudem werden die Effektivität und die Effizienz bei diesen Visualisierungen höher sein.

2.3 Forschungsfrage 3

Welche Rolle spielt die Expertise der Befragten bei der Variabilität, Effektivität und Effizienz der Dateninterpretation?

Hypothese: Experten werden die Visualisierungen effektiver und effizienter interpretieren als Laien. Zudem wird die Variabilität ihrer Antwort geringer ausfallen. Dieser Effekt wird bei den ihnen bekannten Visualisierungen besonders ausgeprägt sein.

2.4 Forschungsfrage 4

Wie läuft der Prozess bei der Dateninterpretation bzw. die Informationsaufnahme in Bezug auf die Farbskala ab?

Hypothese: Testpersonen werden eine höhere visuelle Effizienz aufweisen bei Visualisierungen basierend auf geographischen Designprinzipien, als wenn die Visualisierung unter Missachtung dieser Prinzipien erstellt wurde.

2.5 Forschungsfrage 5

Welche Rolle spielt die Wahl der Hintergrundfarbe bei der Variabilität, Effektivität und Effizienz der Dateninterpretation in der funktionellen Bildgebung?

Hypothesen:

- Der schwarze Hintergrund erhöht die Effektivität und Effizienz der Antworten und reduziert die Variabilität und die Anzahl Refixierungen der Legende bei den Farbskalen, welche in der funktionellen Bildgebung verbreitet sind.
- Der weisse Hintergrund erhöht die Effektivität und Effizienz der Antworten und reduziert die Variabilität der Antwort und die Anzahl Refixierungen der Legende bei Farbskalen, welche auf kartographischen Designprinzipien basieren.

3 Forschungskontext

3.1 Designprinzipien in der Kartographie

Die Wissenschaft der Kartographie bedient sich zwei verschiedenen Arten von Karten. Dies sind einerseits Referenzkarten, welche die geographische Lokalität eines räumlichen Phänomens zeigen, und zum anderen thematische Karten, bei welchen räumliche Muster eines Themas abgebildet werden (Dent, 1999; Slocum u. a., 2009). Thematische Karten können unterschiedlich genutzt werden; sei es zur spezifischen Information über einen Ort, zur generellen Information eines räumlichen Musters, oder zum Vergleich von mehreren Karten und deren Muster (Slocum u. a., 2009). Sie können zu Visualisierungszwecken wie auch zur Kommunikation dienen. Bei der Visualisierung steht das explorative Ziel im Vordergrund, indem Unbekanntes offenbart wird, während bei der Kommunikation der Fokus auf dem Darstellen bereits Bekanntem liegt (MacEachren, 1994b).

Die Kommunikation von Karteninformationen kann anhand eines Modells mit 5 Schritten beschrieben werden (Slocum u. a., 2009). In einem ersten Schritt wird analysiert, wie das Phänomen und dessen Verteilung in der realen Welt aussieht. In einem zweiten Schritt werden der Zweck und das Zielpublikum der Karte definiert. Im dritten Schritt werden die notwendigen Daten zusammengetragen. Im vierten Schritt wird die Karte designt und erstellt. Im fünften Schritt wird das Ergebnis reflektiert und es wird bestimmt, ob die Karte für das Zielpublikum hilfreich und informativ ist. Innerhalb der letzten beiden Schritte (4 und 5) entsteht ein iterativer Prozess: Design und Erstellung der Karte werden entsprechend den Erkenntnissen aus der Reflektion angepasst. In diesem Modell wird der kartographische Designprozess in den vierten Schritt eingegliedert. Das Ziel dieses Schrittes ist es, eine dem Zielpublikum und Zweck angemessene Kartendarstellung zu erhalten und die Information der Karte effektiv, einfach und klar zu kommunizieren.



Abbildung 1: Kommunikationsmodell nach Slocum u.a. (2009).

Eine Vielzahl von Prinzipien und Regeln sind aus der Forschung des Kartendesigns hervorgegangen. Seit dem 20. Jahrhundert wird nicht nur erforscht, wie etwas dargestellt werden kann, sondern auch warum ge-

wisse Designprinzipien besser funktionieren als andere und die Interpretation der durch die Karte dargestellten Informationen erleichtern und präzisieren. Dabei wird vor allem auf die kognitiven Prozesse der die Karte betrachtenden Person eingegangen, mithin wie Karten wahrgenommen werden (Montello, 2002). Der Aspekt der Kognition in der Kartographie ist wichtig, da er Aufschluss darüber gibt, wie Informationen effektiv kommuniziert werden können (Slocum *u. a.*, 2009). In der vorliegenden Arbeit wird der Prozess der Informationsaufnahme mittels Messung und Analyse der Augenbewegung berücksichtigt.

3.1.1 Visuelle Variablen

Eines der grundlegenden Konzepte der Symbolisierung in der Kartographie ist jenes der «visuellen Variablen» von Bertin (1983, 2011). Es beschreibt die verschiedenen wahrgenommenen Unterschiede von Kartensymbolen, welche für die Darstellung geographischer Phänomene gebraucht werden (Slocum *u. a.*, 2009). Bertin (1983, 2011) unterscheidet dabei für jede visuelle Variable vier verschiedene Levels: selektiv, assoziativ, geordnet und quantitativ. Die wahrgenommenen Eigenschaften einer visuellen Variable bestimmen ihr Level. Eine visuelle Variable wirkt selektiv, wenn die Elemente spontan in verschiedene Gruppen aufgeteilt werden; assoziativ, wenn die Elemente als visuell ähnlich wahrgenommen werden; geordnet, wenn die visuelle Klassierung der Gruppen einer Reihenfolge entspricht; und quantitativ, wenn die visuelle Distanz zwischen zwei Gruppen der geordneten Variable als numerisches Verhältnis beschrieben werden. Bertin (1983, 2011) unterscheidet dabei sieben visuelle Variablen, welche durch folgende wahrgenommene Eigenschaften beschrieben werden können: Position, Grösse, Wert, Textur, Farbton, Orientierung und Form. Die visuellen Variablen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer wahrgenommenen Eigenschaften. Im Rahmen dieser Arbeit ist die visuelle Variable «Farbton» und «Farbwert» bzw. «Farbhelligkeit» besonders relevant. Die Farbhelligkeit wird von Bertin als drittichtigste visuelle Variable eingestuft, welche assoziativ, selektiv und geordnet wahrgenommen werden kann. Der Farbton hingegen wird von Bertin (1983, 2011) als selektiv und assoziativ, jedoch nicht als geordnet oder quantitativ, beurteilt. Die «Grösse» wird als einzige visuelle Variable eingestuft, welche quantitativ wahrgenommen werden kann und daher ohne Hilfe einer Legende quantitative Angaben zu Daten vermitteln kann.

Das Konzept der «visuellen Variablen» von Bertin wurde unter anderem von MacEachren (1994a) erweitert. Auch Slocum *u. a.* (2009) haben diesen Ansatz als Prinzip der Symbolisierung aufgegriffen und die visuellen Variablen für qualitative und quantitative Phänomene unterschieden (Slocum *u. a.*, 2009). Diese Unterscheidung basiert auf der Differenzierung, wie ein geographisches Phänomen anhand verschiedener Skalenniveaus aufgenommen werden kann. Grundlegend gibt es die folgenden vier Levels:¹

¹ Methodenberatung UZH: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/skalenniveau.html> (Zugriff: 03.08.2017)

- Nominalskala: Dieses Skalenniveau ermöglicht eine Kategorisierung, jedoch kann keine Reihenfolge dargestellt werden. Beispiel für nominalskalierte Daten: Geschlecht, Landnutzungsklassen.
- Ordinalskala: Dieses Skalenniveau beinhaltet sowohl eine Kategorisierung wie auch eine Rangierung der Daten. Beispiel für ordinalskalierte Daten: Schulnoten.
- Intervallskala: Diese Skala enthält neben einer Rangierung der Daten auch eine Aussage der absoluten Differenzen zwischen einzelnen Datenwerten. Dieser Skalenlevel enthält aber keinen natürlichen Nullpunkt. Beispiel für intervallskalierte Daten: Temperatur in Grad Celsius.
- Verhältnisskala: Auf dieser Skala werden alle Bedingungen der Intervallskala erfüllt und es gibt zusätzlich einen natürlichen Nullpunkt. Beispiele für verhältnisskalierte Daten: Einkommen, Alter, Grösse.

Normalerweise werden die Ordinal-, Intervall- oder Verhältnisskala verwendet, um quantitative Phänomene zu beschreiben. Qualitative Phänomene werden üblicherweise mit einer Nominalskala beschrieben. Für die quantitativen und qualitativen Phänomene beschreibt Slocum u.a. (2009) die folgenden visuellen Variablen: Zeichenabstand (Textur), Grösse, perspektive Höhe, Farbton, Farbhelligkeit, Farbsättigung, Orientierung, Form und Anordnung. Eine Übersicht zu der visuellen Variablen kann dem Anhang entnommen werden. Nicht alle dieser visuellen Variablen sind gleich gut geeignet für die Darstellung der verschiedenen Skalenniveaus. Die folgende Übersicht (Tabelle 3.1) gibt an, welche visuellen Variablen bei der Visualisierung räumlichen Phänomene effektiv für welche Skalenniveaus sind. Der Farbton, welchem in dieser Arbeit besondere Bedeutung zukommt, wird als gut geeignet für nominale und ordinale Daten und mittelmässig für numerische Daten eingestuft. Wichtig ist zu beachten, dass die Farbabfolge bei ordinalen und numerischen Daten so gewählt wird, dass sie als Reihenfolge verstanden wird (Slocum u. a., 2009).

Tabelle 3.1: Effektivität der visuellen Variablen für die Skalenniveaus bei räumlichen Phänomenen (angepasste Darstellung nach Slocum u.a. (2009) und MacEachren (1994a); S=Schlecht, M=Mittelmässig, G=Gut

	Nominal	Ordinal	Numerisch
Textur	S	M	M
Grösse	S	M	M
Perspektive Höhe	S	M	G
Orientierung	G	S	S
Form	G	S	S
Anordnung	G	S	S
Helligkeit	S	G	M
Farbton	G	G	M
Farbsättigung	S	M	M

Bertin zeigt die Bedeutung der Farbe als visuelle Variable. Farbe stimuliert und verbessert die Aufmerksamkeit, erhöht die Zahl der Betrachtenden, unterstützt die Erinnerung von Informationen und erweitert generell den Handlungsspielraum der Darstellung (Bertin, 1983, 2011). Die visuelle Variable «Farbe» kann in drei unterschiedliche Unterkategorien unterteilt werden: Farbton, Farbsättigung und Farbhelligkeit. Die Wahrnehmungskomponenten dieser Kategorien werden exemplarisch in Abbildung 2 gezeigt. Sie beschreiben die drei durch den Menschen wahrgenommenen Dimensionen der Farbe (Brewer, 1994). Unter Farbton ist jene Dimension der Farbe zu verstehen, welche durch ihren Farbnamen beschrieben wird, wie z. B. Grün, Blau, Rot etc. Farbtöne unterscheiden sich physikalisch durch deren spezifische Wellenlängen. Die Farbsättigung bezeichnet die wahrgenommene Menge des Farbtons oder auch der Farbintensität. Mit der Farbhelligkeit wird beschrieben, wie hell oder dunkel ein Farbton wahrgenommen wird (White, Slocum und McDermott, 2017).

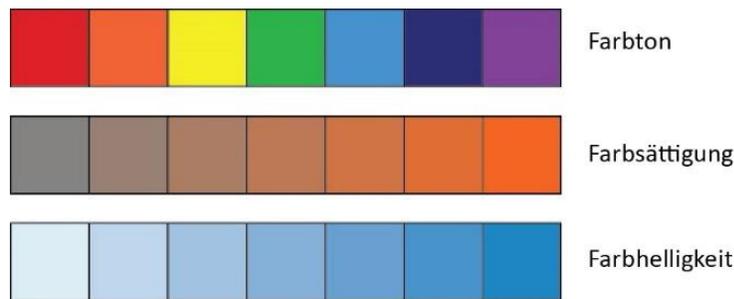


Abbildung 2: Beispiele für Farbskalen Farbton, Farbsättigung und Farbhelligkeit (White, Slocum und McDermott, 2017)

Gemäss White, Slocum und McDermott (2017) sind diese drei Variablen die am häufigsten verwendeten, wobei knapp 70% der quantitativen Karten in geographischen Journals diese verwenden.

3.1.2 Farbskalen

Basierend auf diesen drei Variablen können Farbskalen definiert werden. Gemäss Brewer (1994) gibt es vier verschiedene Typen von Farbskalen: qualitative, binäre, sequentielle und divergierende. Diese Farbskalen sollten wie folgt verwendet werden:

- Die qualitative Farbskala wird bei nominalem Skalenniveau verwendet. Dementsprechend werden Unterschiede im Farbton für die qualitativen Unterschiede in den Daten verwendet. Die Farbhelligkeit und die Farbsättigung sollten ähnlich bleiben (Brewer, 1994).
- Die binäre Farbskala wird verwendet, wenn das zugrundeliegende Skalenniveau nominal mit nur zwei Kategorien ist, wie z.B. Ja/Nein. Der dominierende, wahrnehmbare Unterschied zwischen den Kategorien sollte in der Farbhelligkeit liegen. Die wichtigere Kategorie sollte dabei dunkler erscheinen. Falls beide Kategorien gleich wichtig sind, werden zwei Farbtöne gewählt, welche möglichst nur einen geringen Unterscheid in der Helligkeit aufweisen (Brewer, 1994).

- Die sequentielle Farbskala wird bei Daten verwendet, welche ein ordinales oder metrisches Skalenniveau aufweisen und in eine logische Reihenfolge zwischen hoch und tief gebracht werden können. Dabei werden die einzelnen Kategorien in einem Helligkeitsunterschied dargestellt. Normalerweise werden tiefe Datenwerte heller dargestellt und hohe Datenwerte dunkler. Diese Regel kann aber auch umgekehrt werden. Die Verwendung mehrerer Farbtöne ist möglich, jedoch ist zu beachten, dass die Farbtonunterschiede nicht die Helligkeitsunterschiede dominieren (Brewer, 1994).
- Die divergierende Farbskala wird verwendet, wenn die Daten ein ordinales oder metrisches Skalenniveau aufweisen und bipolar sind (Slocum *u. a.*, 2009). Die Enden der darzustellenden Skala werden je durch einen anderen Farbton repräsentiert. Die Helligkeit der gewählten Farbtöne ist am Ende der Skala dunkel und wird zur Mitte hin heller. Die Mitte der Skala wird durch eine neutrale Sequenz gekennzeichnet, z.B. hellgrau. Die Sättigung der Farbe kann ebenfalls variiert werden, um Unterschiede besser hervorzuheben (Brewer, 1994). Eine divergierende Farbskala ist zum Beispiel anwendbar, wenn die positiven und negativen Abweichungen zu einem Mittelwert oder Median gezeigt werden sollen. Negative Abweichungen können z.B. blau und positive Abweichungen rot dargestellt werden, wobei stets gilt, je höher die Abweichung desto dunkler das Blau bzw. das Rot. Der Median oder Mittelwertbereich wird in grau dargestellt. Es braucht jedoch nicht zwingend einen Nullwert in der Mitte, sondern es kann sich auch um einen kritischen Wert handeln. Zum Beispiel kann die 50% Zustimmungsgrenze bei Abstimmungen als solcher kritischer Wert betrachtet werden. Eine divergierende Farbskala kann jedoch nicht nur gebraucht werden, um einen mittleren Bereich hervorzuheben, sondern der mittlere Bereich kann auch dazu dienen, die beiden Extrembereiche hervorzuheben. Mit dieser Skala ist es möglich, schnell zu identifizieren, ob ein Wert im Bereich eines Extremums liegt, und wenn ja bei welchem (Moreland, 2009).

Die zuvor beschriebenen Farbskalen werden oft unter Berücksichtigung der geographischen Konvention «je dunkler, desto mehr» verwendet (Dent, 1999). Höhere Datenwerte werden dunkler und tiefere Datenwerte heller dargestellt. Fabrikant *u.a.* (2004) haben jedoch mit ihrer Studie aufgezeigt, dass diese Konvention nicht ohne weiteres als intuitiv angenommen werden kann. Diese Konvention sollte daher nicht generell und unreflektiert angewandt werden (Fabrikant *u. a.*, 2004).

Ausserhalb der Konvention der Farbskalen von Brewer (1994) kommen aber auch andere Farbskalen zur Anwendung. Eine der meistgebrauchten Farbskalen ist die spektrale Farbskala (Borland und Taylor, 2007). Bei dieser Farbskala wird das sichtbare Farbspektrum verwendet (rot, orange, gelb, grün, blau, violett) oder ein Teil davon. Demnach kommt bei einer solchen Farbskala die visuelle Variable «Farbton» zur Anwendung. Eine Variante davon ist die «Verkehr»-Farbskala. Diese verwendet nur einen Bereich aus der spektralen Farbskala und werden oft mit der Assoziation Grün für Gut oder Losfahren, Gelb für Warnung und Rot für Stopp oder Achtung verwendet (White, Slocum und McDermott, 2017). Schliesslich wird auch eine

nicht kategorisierte Farbskala für die Darstellung von nominalen oder kategorischen Unterschiede in den Daten verwendet, wobei sich vor allem verschiedene Farbtöne dafür eignen (Mackinlay, 1986). White, Slocum und McDermott (2017) zeigten in ihrer Analyse von 440 untersuchten quantitativen, geographischen Karten, dass 25.7% mit divergierende Farbskalen, 25.9% mit sequentiellen Farbskalen und 30% mit spektralen Farbskalen dargestellt wurden. «Verkehr»-Farbskalen wurden in 7.7% der Fälle benützt, nicht kategorisierte Farbskalen in 10.7% der Fälle.

Gemäss herrschender Lehre ist die spektrale Farbskala nicht geeignet, um quantitative Daten darzustellen (Brewer, 1994; MacEachren, 1995; Robinson *u. a.*, 1995). Bereits Bertin hat dies diskutiert (1983, 2011). Ein Problem besteht darin, eine hell-dunkel-Sequenz in diese Farbabfolge zu bringen, da das Spektrum von Rot bis Violet-Blau geht. Die Schwierigkeit liegt darin, dass sich der Farbton Gelb, welcher sich etwa in der Mitte des Spektrums befindend, ein sehr heller Farbton ist. Wird dieser verdunkelt, wird automatisch auch die Farbsättigung verändert. Dementsprechend ist die Helligkeitsabstufung für eine sequentielle Farbskala nur schwer mit einer spektralen Farbabfolge umsetzbar (Brewer, 1994). Gemäss Borland und Taylor (2007) führen spektrale Farbskalen zu Verwirrung beim Betrachtenden, Verdecken der Daten und zu Irreführung bei der Interpretationen. Die Verwirrung findet statt, da bei einer spektralen Farbskala die Reihenfolge der Farben nicht intuitiv, wie sie es bei einer Graustufenabfolge wäre, ist. Die Reihenfolge der Farben gemäss ihrer Wellenlänge wird durch unser visuelles System nicht sofort wahrgenommen (MacEachren, 1995). Die Verdeckung der Daten wird damit begründet, dass kleine Details in den Daten bei einer spektralen Farbskala nicht gezeigt werden, da die Wahrnehmung bei hoher räumlicher Frequenz durch Veränderung der Helligkeit erfolgt (Bergman, Rogowitz und Treinish, 1995; Borland und Taylor, 2007; Silva, Sousa Santos und Madeira, 2011). Dieses Problem ist in Abbildung 3 ersichtlich, welche eine Darstellung der räumlichen Kontrast-Sensitivitätsfunktion beinhaltet. Bei der Darstellung nimmt die Frequenz der Daten gegen rechts zu. Der Kontrast der jeweiligen Farbe nimmt nach unten zu. Bei hohem Kontrast und hoher Frequenz sind bei a) die Unterschiede besser sichtbar als bei b).

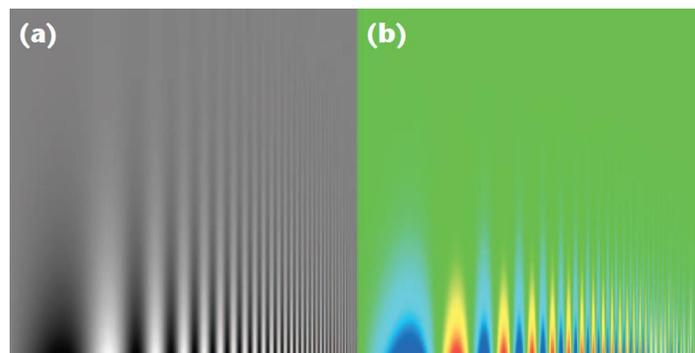


Abbildung 3: Räumliche Kontrast-Sensitivitätsfunktion. Frequenz nimmt gegen rechts zu und der Kontrast nach unten zu. Details sind in a) bei viel tieferem Kontrast sichtbar als bei b) (Borland und Taylor, 2007).

Karten mit spektraler Farbskala erscheinen zudem wie separierte Klassen verschiedener Farbtöne mit scharfen Grenzen zwischen den Farbtönen (Abbildung 4). Diese scharfen Grenzen in der Darstellung verleiten den Betrachtenden dazu, von einer scharfen Grenze oder einem Bruch in den zugrundeliegenden Daten auszugehen. Die Spalten in Abbildung 4 stellen das gleiche Datenset dar, aber jeweils mit einer anderen Farbskala: a) spektrale Farbskala, b) sequentielle Farbskala Schwarz-Grau-Weiss c) sequentielle Farbskala mit Schwarz-Rot-Gelb (Schwarzkörper Radiation) und d) divergierende Farbskala Grün-Rot. Es zeigt sich sehr gut, dass je nach Wahl der Farbskala unterschiedliche Grenzen oder Bereiche wahrgenommen werden. So nimmt z.B. der Betrachtende bei der spektralen Farbskala in der dritten Spalte verschiedene Kreise oder Kreissegmente wahr, während diese in der sequentiellen Farbskala nicht sichtbar sind.

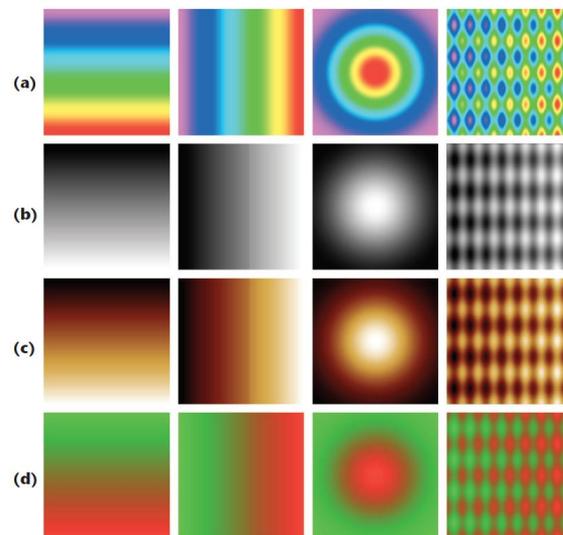


Abbildung 4: Vier verschiedene Datensets dargestellt mit unterschiedlichen Farbskalen. a) spektrale Farbskala, b) sequentielle Farbskala Schwarz-Grau-Weiss c) sequentielle Farbskala mit Schwarz-Rot-Gelb (Schwarzkörper Radiation) d) divergierende Farbskala Grün-Rot (Borland und Taylor, 2007).

Ware (1988) untersuchte in seiner Studie unterschiedliche Farbskalen. Die Informationen, welche durch eine Karte vermittelt werden, unterteilte er in zwei Bereiche. Metrische Information wird an jedem Punkt auf der Karte vermittelt, wo Daten hinterlegt sind. Räumliche Information wird über die gesamte Oberfläche der Karte vermittelt. Seine Studie kam zum Resultat, dass spektrale Farbskalen besser geeignet sind, um die metrische Information zu übermitteln. Bei der räumlichen Information hingegen eignen sich Farbskalen mit einer Helligkeitsveränderung besser. Dies bestätigte auch Montag (1999) mit seiner Studie, wonach eine spektrale Farbskala für die Interpretation von einzelnen Datenwerten bessere Resultate erzielte. Bartlein und Light (2004) vertreten hingegen die Ansicht, dass für sequentielle Daten die spektrale Farbskala ungeeignet ist, da die Betrachtenden nicht automatisch Violett grösser als Rot wahrnehmen. Gemäss Tufté (1983) eignen sich Graustufungen zur Visualisierung quantitativer Daten besser als verschiedene Farbtöne, da bereits eine natürliche visuelle Hierarchie besteht. Auch White, Slocum und McDermott (2017) haben bei ihrer

Untersuchung thematischer Karten herausgefunden, dass bei der Beurteilung der Effektivität bei der Kommunikation räumlicher Muster die spektrale Farbskala gegenüber der sequentiellen und divergierenden schlechter abschneidet.

Ein weiteres Problem bei spektralen Farbskalen stellt die Farbfehlsichtigkeit dar. Ungefähr 4% vor allem der männlichen Bevölkerung in den USA und Europa haben eine Art der Farbfehlsichtigkeit (Slocum *u. a.*, 2009). Die meisten Betroffenen haben Mühe, zwischen Rot und Grün zu unterscheiden. Als Beispiel für die Problematik der Farbfehlsichtigkeit dient die Abbildung 5. Die beiden Hirnkarten stammen aus der Studie dieser Arbeit. Die Hirnkarte links zeigt diese aus Sicht einer Person mit der Farbfehlsichtigkeit «Deuteranopia» und rechts aus Sicht einer Person ohne Farbfehlsichtigkeit. Bereiche um den Wert 50 oder 90 können durch den Betrachtenden mit einer Farbfehlsichtigkeit nur schwierig unterschieden werden.

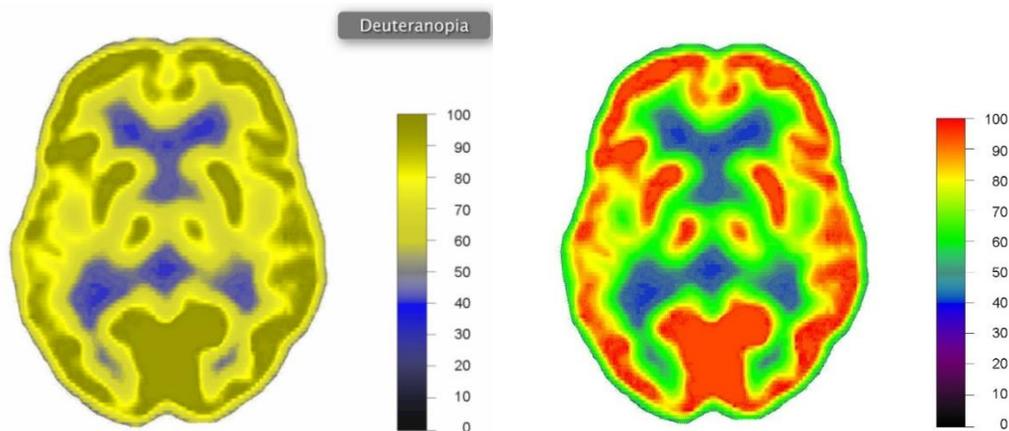


Abbildung 5: Hirnkarte aus Sicht einer Person mit der Farbfehlsichtigkeit «Deuteranopia» links und aus Sicht einer Person ohne Farbfehlsichtigkeit. Erstellt mit Hilfe der Software ColorOracle² (angepasste Darstellungen aus Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015))

Eine Studie von Olson und Brewer (1997) zeigte, dass Personen mit einer Farbfehlsichtigkeit bei Tests schlechter abschnitten bei Karten mit einer unangepassten spektralen Gestaltung als bei einer angepassten Gestaltung. Normale spektrale Farbskalen sind aufgrund der in der Bevölkerung vorkommenden Farbfehlsichtigkeit problematisch (Slocum *u. a.*, 2009). Wird bei einer spektralen Farbskala jedoch nicht nur der Farbton, sondern zusätzlich die Helligkeit variiert, können auch Personen mit Farbfehlsichtigkeit ohne Probleme die Unterschiede erkennen. Angepasste spektrale Farbskalen können demnach gemäss Brewer (1997) durchaus benutzt werden. Brewer (1997) kommt ausserdem zur Erkenntnis, dass die kartographische Konvention, spektrale Farbskalen seien für Karten mit quantitativen Daten nicht geeignet, zu wenig differenziert ist. Die Konvention basiert darauf, dass alle quantitativen Daten eine sequentielle Struktur aufweisen, und damit die Farbskala von hell zu dunkel dargestellt wird. Bei Daten mit divergierender Struktur jedoch konnte

² ColorOracle: <http://colororacle.cartography.ch/> (Zugriff: 04.09.2017)

nachgewiesen werden, dass spektrale Farbskalen funktionieren, indem Gelb für den mittleren Bereich der Datenverteilung verwendet wird, sofern dieser Bereich hervorgehoben werden soll (z.B. kleinste Abweichung). Jedoch kann der Gelb-Bereich auch missinterpretiert werden, wenn der mittlere Bereich nicht signifikant für die Darstellung ist oder nicht genau bekannt ist (Light und Bartlein, 2004). Ein weiteres Problem bei der Farbe Gelb ist, dass Gelb weniger wahrnehmbare Sättigungsstufen hat als andere Farbtöne, und es demnach schwieriger ist, einzelne Sättigungsabstufungen bei Gelb zu erkennen, als z. B. bei Blau (Silva, Sousa Santos und Madeira, 2011).

Der Diskurs um Designprinzipien ist nicht nur in der Kartographie präsent. Es wurden in diesem Kapitel bereits Forschende, wie z.B. Eduard Tufte, zitiert, welche nicht typischerweise in der Kartographie angesiedelt sind. Der Prozess der Visualisierung von Daten findet in sehr vielen Bereichen, vor allem auch in verschiedenen Forschungsbereichen, Anwendung. Generell verstehen wir unter Visualisierung eine graphische Repräsentation von Daten oder Konzepten (Ware, 2013), wobei Farbzuordnung eine wichtige Technik dafür darstellt (Silva, Sousa Santos und Madeira, 2011). Forschung zur richtigen Farb(skala)wahl findet deshalb nicht nur im Bereich der Kartographie oder Geographie statt.

Rogowitz und Kalvin (2001) zeigten mit ihrer Studie auf, dass Farbskalen mit einer monotonen Erhöhung der Helligkeit gut geeignet sind zur Repräsentation von kontinuierlichen Daten. Die Studie zeigte zudem auf, dass Visualisierungen mit einer gleichbleibenden Helligkeit, aber Änderung des Farbtones (spektrale Farbskala) oder der Farbsättigung, weniger gute Bewertung erhielten, da diese keine Informationen über das Ausmass der Datenwerte lieferten. Rogowitz und Treinish (1998) zeigten anhand verschiedener Beispiele aus Wissenschaft, Medizin und Engineering, wie Artefakte bei Visualisierungen mittels spektraler Farbskala entstehen. Sie wiesen darauf hin, dass es wichtig ist, die Struktur der Daten bei der Erstellung von Farbvisualisierungen miteinzubeziehen und zeigten auf, dass die Standardeinstellungen vieler elektronischer Visualisierungsprogramme eine ungünstige Farbwahl enthalten und die Bedeutung der zu Grunde liegenden Daten verändern und zu Fehlinterpretation führen können. Rogowitz und Treinish (1996) erläutern, dass Entwickler von Visualisierungs-Software ihre Nutzer normalerweise mit sog. *default* Farbskalen bedienen, wobei die meistverbreitete *default* Farbskala die spektrale Farbskala ist. Auch Borland und Taylor (2007) diskutierten die Farbwahl bei Programmen und kommen ebenfalls zum Ergebnis, dass die verwendeten Farbskalen Einfluss auf die Wahrnehmung und die Interpretation der dargestellten Daten haben (vergl. Abbildung 4). Bei Unterschieden in der Visualisierung, welche nicht auf die Daten zurück zu führen sind, können die Daten fehleingeschätzt werden (Christen *u. a.*, 2013).

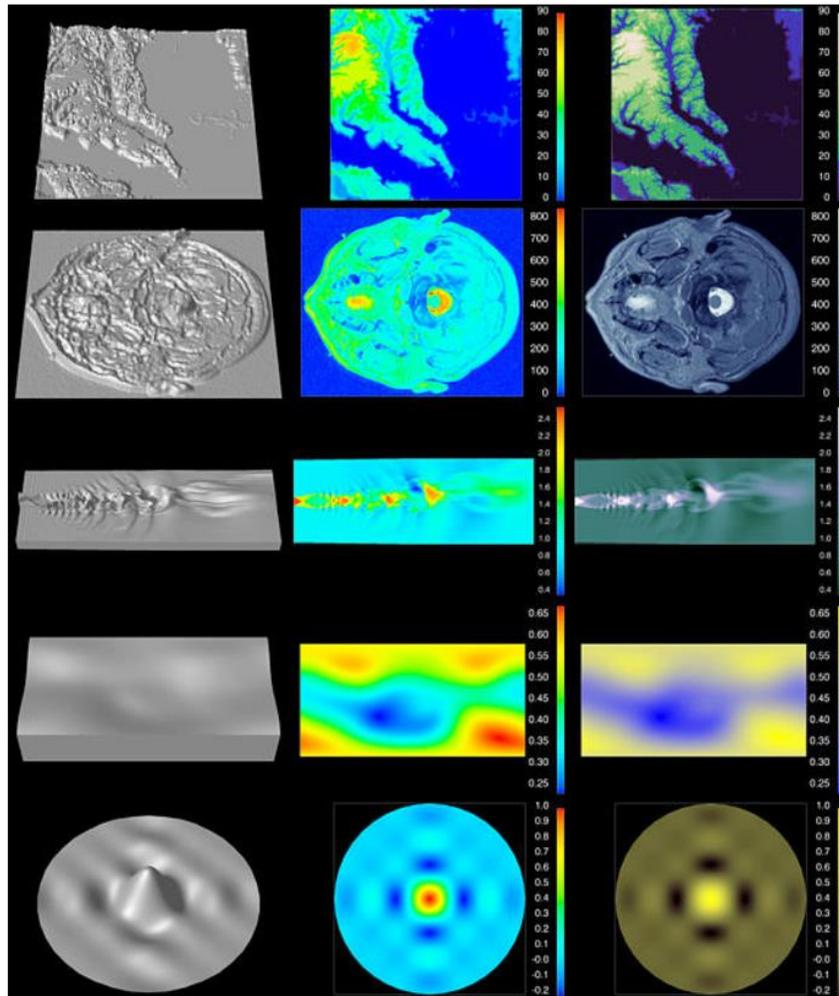


Abbildung 6: Jede Zeile zeigt 3 verschiedene Visualisierungen des gleichen Datensets. In der ersten Spalte wie die Daten «wirklich» aussehen, in der zweiten Spalte mit einer spektralen Farbskala und in der dritten Spalte mit einer Farbskala basierend auf der räumlichen Frequenz und der visuellen Verarbeitung (Rogowitz und Treinish, 1998).

Rogowitz und Treinish (1998) zeigten anhand einer Darstellung (hier Abbildung 6) auf, wie die durch die Standardfarbdarstellung einer spektralen Farbskala entstanden Artefakte erkennbar sind. In der ersten Spalte wird die Visualisierung der Daten gezeigt, indem der Wert jedes Punktes proportional zum Ausmass in den Daten mit einer Grauskala dargestellt wird, einer Schattierung und einer seitlichen Perspektive. Diese Visualisierung gibt einen Eindruck, wie die Daten «wirklich» aussehen. In der zweiten Spalte werden die Daten mit einer spektralen Farbskala-Visualisierung gezeigt. In der dritten Spalte entwickelten Rogowitz und Treinish die Visualisierung nach dem folgenden Prinzip: Für intervallskalierte und verhältnisskalierte Daten werden Änderungen der Helligkeit und der Sättigung in einer Farbskala gebraucht, um die Änderungen in den Daten zu zeigen. Dabei soll eine Änderung in den Daten gleich gross sein wie die Änderung in der Wahrnehmung. Helligkeitsänderungen sind dabei effektiv für hochfrequente Datenvariabilität, und Sättigungsänderungen effektiv für tieffrequente Variabilität in den Daten.

3.2 Designprinzipien in den Neurowissenschaften

Informationen werden nicht nur in der Geographie visualisiert. Ein Bereich, in welchem die Visualisierung von Information auch eine wichtige Rolle spielt, ist die funktionelle Bildgebung des zentralen Nervensystems (Goldstone, Pestilli und Börner, 2015), im Englischen als *neuroimaging* bekannt. Das menschliche Gehirn ist ein komplexes System, und bis heute versuchen WissenschaftlerInnen es zu verstehen. Ein zentraler Ansatz spielt dabei die Visualisierung extrem grosser Datensets mittels Tabellen, Graphiken, Diagrammen, Netzwerken und Karten (Goldstone, Pestilli und Börner, 2015). Ein differenziertes Verständnis der Struktur, Funktion und des Verhaltens des Gehirns sind von der Repräsentierung quantitativer und qualitativer Daten abhängig. Wie Daten oder Resultate interpretiert werden, hängt aber auch von Datenerfassung, Methodik, Analyse und Visualisierung ab (Goldstone, Pestilli und Börner, 2015). Empirische Forschung über die Methodik bei der Herstellung von Visualisierungen in der funktionellen Bildgebung ist jedoch eher rar (Christen *u. a.*, 2013).

In funktionaler Bildgebung werden viele Grafiken zur Darstellung von Daten mit Farben dargestellt. Die Wahl der Farbskala ist allerdings sehr divers und es kommen unterschiedliche Farbskalen zur Anwendung (Christen *u. a.*, 2013). Die Studie von Christen *u. a.* (2013) untersuchte mehr als 9'000 Visualisierungen aus der funktionellen Bildgebung (fMRI und PET), welche zwischen 1996 und 2009 in sechs verschiedenen Journalen publiziert wurden, auf ihre Farbverwendung, Bildstruktur, verwendete Software und auf andere Faktoren, welche einen Hinweis auf die Darstellungsprinzipien gaben. Es wurde herausgefunden, dass eine Farbskala von Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (auch *heated body* Farbskala genannt) sehr häufig verwendet wird. Diese basiert auf der Konvention, dass hellere Farben höhere Datenwerte repräsentieren. Die Studie ergab, dass rund 44% der mehr als 9'000 untersuchten Bildern in dieser Farbskala dargestellt wurden. Wurden dabei auch alle verwendeten Farbskalen miteingeschlossen, welche nur einen Teil der sog. *heated body* Farbskala (z.B. nur Rot-Gelb-Weiss) verwendeten, waren es 63%. Am zweithäufigsten wurde eine einfarbige Darstellung gewählt (22%), welche vor allem zum Anzeigen bestimmter aktiver Regionen verwendet wurde. Am dritthäufigsten wurde die spektrale Farbskala verwendet (15%, bzw. 22%, wenn Auszüge aus dieser Farbskala auch miteinbezogen werden). 7% bzw. 10% (mit Auszügen) verwendeten eine sequentielle Farbskala mit einer Helligkeitsänderung (z. B. Blau-Weiss). Ferner verwendeten 11% bis 12% eine hier nicht beschriebene Art der Darstellung. Es wurde zudem festgestellt, dass die Verwendung der *heated body* Farbskala in der jüngeren Vergangenheit statistisch signifikant zunahm. Dieser Trend der Standardisierung der Farbskala ist jedoch nicht in jedem Bereich gleich ausgebildet. Vor allem im Bereich der Darstellung statistischer Parameter ist der Anteil dieser Farbskala erhöht. Bei PET-Visualisierungen ist der Anteil der spektralen Farbskala sehr hoch. Es wurde auch untersucht, inwiefern die Konvention der Farbassoziation aus der Neurophysiologie in der funktionellen Bildgebung eingehalten wird (Christen *u. a.*, 2013). Die Konvention beinhaltet, dass Rot und Gelb für hohe oder positive Aktivität stehen und Grün, Blau und Violett

für tiefe oder negative Aktivität repräsentieren (Schott, 2010). Gemäss Christen u.a. (2013) wird diese Konvention bei der funktionellen Bildgebung nicht generell eingehalten, da in 54% der Fälle gelb und rot für tiefe Aktivität verwendet wurden. Eine weitere Konvention in der funktionellen Bildgebung sieht Schott (2010) in der *heated body* Farbskala. Erwärmte oder warme Körper erscheinen heller als kalte. Daher erscheint die Skala von Schwarz über Rot, Orange, Gelb zu Weiss. Diese Skala ist intuitiv auch einordbar, da diese Farbabfolge bereits in der Natur wahrgenommen wird. Ein klassisches Beispiel der Geographie ist diesbezüglich die blaue Farbskala für unterschiedliche Wassertiefen (Tuft, 1990), welche aufgrund der Erfahrung in der Natur (je tiefer das Wasser je dunkler) intuitiv verstanden wird. Eine spektrale Farbskala wird hingegen auch im Bereich der funktionellen Bildgebung als nicht intuitiv angesehen, vor allem weil die Reihenfolge der Farben für die betrachtende Person nicht klar ist (Schott, 2010). Dumit (2004) sieht das Problem bei der spektralen Farbskala, dass Regionen unterschiedlicher Farbe diskret und scharf voneinander abgetrennt werden statt diffus. Auch wenn Betrachtende einen kontinuierlichen Farbverlauf vor sich haben, tendieren sie dazu, diesen in Kategorien zu betrachten (Goldstone und Hendrickson, 2010). Bei spektralen Farbskalen führt dies dazu, dass Betrachtende mehr Kategorien wahrnehmen, als bei einer Farbskala mit nur einem Farbton. Dies ist vor allem problematisch, wenn das Dargestellte sich nicht kategorisch ändert, sondern nur numerisch. Dem Betrachtenden wird daher fälschlicherweise weitergegeben, dass diskrete Regionen bestehen anstatt einer kontinuierlicher Struktur (Bergman, Rogowitz und Treinish, 1995).

Quantitative Daten können im Gegensatz zu qualitativen Daten auf einer numerischen Skala zueinander in Relation gesetzt werden. Die numerische Skala kann mit einer Farbskala ersetzt werden, unter der Bedingung, dass die gewählte Farbskala sich wahrnehmend konsistent zur numerischen Skala, resp. zu den Veränderungen in den Daten, verhält (Gehlenborg und Wong, 2012).

Auch Rogowitz und Treinish (1996) haben sich im Bereich der funktionellen Bildgebung mit dem Einfluss der Darstellungsart auf die Interpretation der Daten befasst. Die folgende Abbildung 7 zeigt, wie stark sich die Visualisierung eines Datensatzes unterscheiden kann, je nach Wahl der Farbskala.

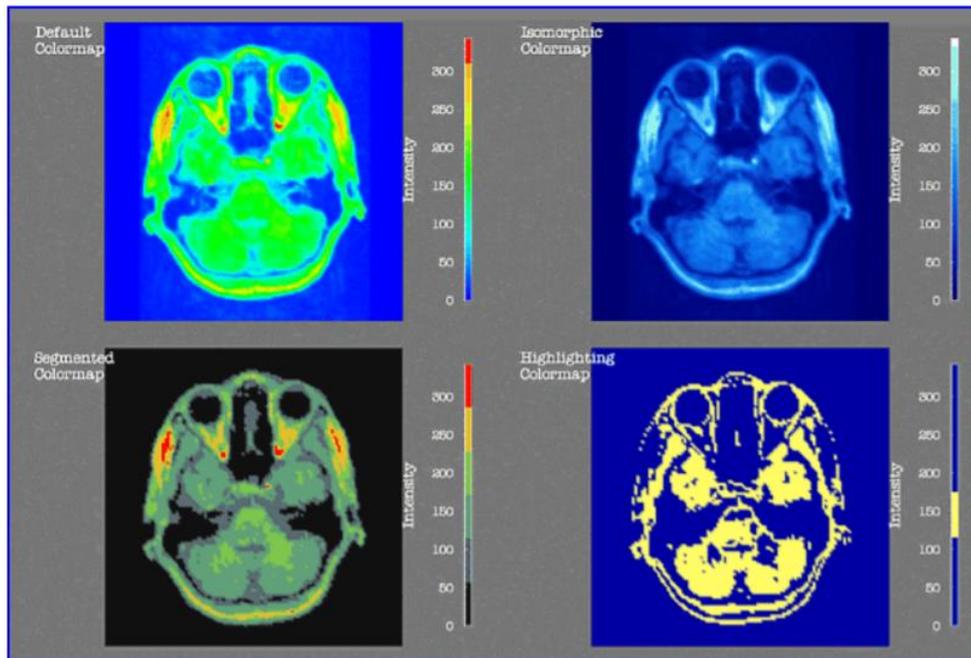


Abbildung 7: Visualisierung von MRI-Daten mit verschiedenen Farbskalen (Rogowitz und Treinish, 1996).

In Abbildung 7 sind unterschiedliche Konturen je nach Farbskala sichtbar, welche nicht die kontinuierlichen Übergänge in den Daten darstellen. Die Strukturen der Daten, welche nicht innerhalb einer dieser Bandbreiten liegen, werden nicht dargestellt. Zudem werden gelbe Bereiche hervorgehoben (wie z. B. in der *default colormap* und der *segmented colormap* in Abbildung 7), weil sie am hellsten erscheinen, aber nicht weil sie zwingend am wichtigsten sind (Rogowitz und Treinish, 1996).

Es ist nicht abschliessend geklärt, ob eine Zunahme an Hirnaktivität entsprechend der Konvention «je dunkler desto mehr» dargestellt werden sollte. Wichtig ist jedoch, dass die Methoden der Erstellung von Visualisierungen in der funktionellen Bildgebung diskutiert werden (Christen *u. a.*, 2013). Christen *u. a.* (2013) schlagen zudem vor, gewisse Standardisierungen bei der Wahl der Farbskalen zu verankern. Gemäss ihrer Erkenntnis soll für die Darstellung einer Zunahme an statistischer Relevanz eine Farbskala von Rot-Gelb verwendet werden. Wobei Gelb und nicht Weiss für die höchsten Werte verwendet wird, da Gelb diese Bereiche hervorhebt.

Eine Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015) untersuchte den Effekt verschiedener Farbskalen auf die Dateninterpretation. Es wurden die spektrale Farbskala, die divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot, die sequentielle Farbskala Grün und die spektrale Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss untersucht.

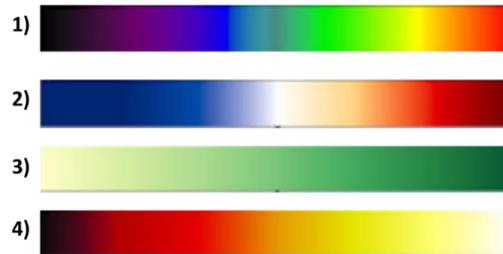


Abbildung 8: Verwendete Farbskalen in der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant. 1) Spektrale Farbskala, 2) divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot, 3) sequentielle Farbskala Grün, 4) spektrale Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (aus (Fabrikant, 2016)).

Von links nach rechts wurde jeweils eine Zunahme der statistischen Signifikanz codiert. Die Farbskala 1) ist eine spektrale Farbskala, welche häufig bei Positronen-Emissions-Tomographie-Bildern (PET-Bildern) verwendet wird. Im englischen wird diese Skala meist als *Rainbow Scale* bezeichnet. Die Farbskala 2) ist eine divergierende Farbskala von Blau-Weiss-Rot, sie folgt der Konvention, kalte Farben für tiefe Werte und warme Farben für hohe Werte einzusetzen (Herman und Levkowitz, 1992). Eine solche Farbskala wird in der Geographie insbesondere verwendet, um klimatische Veränderungen darzustellen: Weiss zeigt Regionen mit minimaler Veränderungen; je dunkler das Blau je höher die Veränderung in kühlende Richtung; je dunkler das Rot je höher die Veränderung in erwärmende Richtung (Brewer, 1996). Die Farbskala 3) ist eine sequentielle Farbskala in Grün, welche der Konvention folgt, dass tiefere Werte heller dargestellt werden und höhere Werte dunkler dargestellt werden. Diese Farbskala verwendet eine ähnliche Farbabfolge wie bereits Eduard Imhof bei der Geländedarstellung (Imhof, 2007). Die Farbskala 4) ist eine Farbabfolge von Schwarz, Rot, Gelb, Weiss und folgt der Konvention des Spektrums der Schwarzkörperstrahlung (Ware, 2013). Im Englischen wird diese Farbskala meist *heated body* Skala genannt.

Die Resultate der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) zeigen, dass die Variabilität der Dateninterpretation abhängig von den Farbskalen ist. Entgegen ihrer Hypothese, dass Experten aus dem Bereich funktioneller Bildgebung am wenigsten von der Farbskala beeinflusst werden, wurde herausgefunden, dass die Variabilität der Experten in Bezug auf die Reaktion auf die Verwendung von verschiedenen Farbskalen im Vergleich zu Laien am höchsten war. Zudem wurde herausgefunden, dass die Probanden den Visualisierungen mit der spektralen Farbskala am meisten Vertrauen schenkten. Experten aus der Neurowissenschaft haben die spektrale Farbskala signifikant nützlicher gewertet als dies Experten aus dem Bereich der Geovisualisierung taten.

3.3 Visuelle Analyse

Die visuelle Analyse, bzw. die Wahrnehmung einer Visualisierung, wird durch zwei verschiedene Effekte beeinflusst (Hegarty, Canham und Fabrikant, 2010). Zum einen gibt es sogenannte Bottom-Up Effekte, welche die Wahrnehmung einer Visualisierung aufgrund bestimmter Darstellungsaspekte beeinflussen. Sie

werden auch reizgesteuerte Effekte genannt, da sie die Wahrnehmung durch aktuelle physikalische Reize, auch Stimuli genannt, beeinflussen (Goldstein, 2009). In der Informationsvisualisierung könnten solche Stimuli zum Beispiel durch Farbe oder Kontrast hervorgehobene Bereiche beinhalten. Dieser Effekt wird in der vorliegenden Arbeit durch die Verwendung von verschiedenen Farbskalen und Hintergrundfarben untersucht. Zum anderen gibt es Top-Down Effekte, welche die Wahrnehmung durch Vorwissen oder Wissen der Testpersonen von Konzepten, Erfahrung und den Kontext der Visualisierung beeinflussen (Goldstone, Pestilli und Börner, 2015). Beide Effekte haben einen Einfluss auf die Art und Weise was und wie Menschen wahrnehmen und dementsprechend auch auf den Prozess der Informationsaufnahme. Dieser Prozess kann mit der Messung der Augenbewegung analysiert werden und wird in dieser Arbeit ebenfalls berücksichtigt.

3.3.1 Bottom-Up Effekte

Die Bottom-Up Effekte sind direkt abhängig von den physischen Eigenschaften einer Visualisierung. Zu diesen Eigenschaften gehört auch die Farbe. Die Wahl der Farbe entscheidet, wie eine Visualisierung aussieht, welche Bereiche hervorgehoben werden und welche nicht, und welche Reize dem Betrachtenden zur Verarbeitung vorgelegt werden. Verschiedene Farbtöne, -helligkeiten oder -sättigungen als visuelle Variablen können daher als unterschiedliche Stimuli eingesetzt werden. Ein Beispiel, wie spektrale Farben als Stimuli wahrgenommen werden, zeigen Goldstone und Hendrickson (2010). Sie legen dar, dass bei einer Betrachtung eines Regenbogens sieben verschiedene Farbtöne wahrgenommen werden, obwohl wir wissen, dass ein Regenbogen ein kontinuierlicher Verlauf der dominierenden Wellenlänge des sichtbaren Lichts ist. Trotzdem tendieren wir dazu, die Farben als Kategorien wahrzunehmen. Auch einzelne Farbtöne und deren Wahrnehmung spielen bei den Bottom-Up Effekten eine Rolle. Unterschiedliche Farbtöne werden unterschiedlich wahrgenommen, da die menschlichen Rezeptoren nicht alle Farbtöne gleich sensitiv absorbieren (Ware, 2013). Eine Studie (Elliot *u. a.*, 2007) zeigte, dass die Wahrnehmung von Rot die Leistung in einer Aufgabe im Vergleich zu Grün oder achromatischen Farben reduziert. Bei Bottom-Up Effekten spielt auch der Kontrast eine wichtige Rolle, unter welchem die visuellen Unterscheide zwischen Objekte verstanden werden, damit diese unterschieden werden können (Slocum *u. a.*, 2009). Visualisierungen mit unterschiedlichen Farbskalen unterscheiden sich auch hinsichtlich des Kontrasts, welcher einen Einfluss auf die Wahrnehmung hat (MacEachren, 1995). Kontraste variieren aber nicht nur zwischen verschiedenen Farbskalen, sondern auch hinsichtlich der Hintergrundfarbe. Ziel der Darstellungswahl des Hintergrundes ist es, die visuelle Aufmerksamkeit auf den Vordergrund zu lenken. Je nach Wahl kann dies den Kontrast erhöhen oder reduzieren und damit den Betrachtenden und dessen Wahrnehmung beeinflussen.

3.3.2 Top-Down Effekte

Bei Top-Down Effekten handelt es sich um eine Interaktion des Wissens und der Erfahrung eines Betrachtenden auf dessen Wahrnehmungsprozess. Dabei spielen unterschiedliche Wissensbereiche eine Rolle. Generell gibt es Vorwissen zu einer bestimmten Visualisierung oder dem dahinterliegenden Konzept oder Gebiet, sogenanntes «Domain»-Wissen. Weiter gibt es ein bestimmtes Wissen, welches durch die Aufgabe zur Visualisierung besteht, sogenanntes «taskrelevantes» Wissen (Hegarty, Canham und Fabrikant, 2010). Wie eine Visualisierung wahrgenommen wird, hängt dementsprechend unter anderem vom Vorwissen ab. Die Top-Down Effekte beinhalten auch die kulturellen Normen und individuellen Präferenzen, durch welche ein Betrachtender beeinflusst wird (Dumit, 2004). Ein Beispiel hierfür ist die Farbassoziation. In der europäischen Kultur wird mit der Farbe Rot oft Gefahr oder Hitze, mit Blau eher Kälte, und Grün mit Leben assoziiert. In China steht Rot hingegen für das Leben und Grün für den Tod (Ware, 2013).

3.3.3 Eye-Tracking

Zusätzlich zu den traditionellen Methoden der Analyse geographischer Designprinzipien wird in der visuellen Analyse auch die Eye-Tracking Analyse verwendet. Diese kann als direktes Mass für die visuelle Wahrnehmung verstanden werden (Çöltekin *u. a.*, 2009). Moderne Eye-Tracking Geräte ermöglichen genaue Aufnahmen der Anzahl Fixierungen, Dauer der Fixierungen und Sakkaden. Unter einer Fixierung wird eine relativ stabile Augenposition über eine bestimmte, andauernde Zeitperiode verstanden, welche üblicherweise mindestens zwischen 100-200ms betragen muss (Jacob und Karn, 2003). Unter einer Sakkade versteht man die schnelle Augenbewegung zwischen zwei Fixierungen (Çöltekin *u. a.*, 2009). Häufig werden in Eye-Tracking Analysen bestimmte Bereiche einer Darstellung als wichtig eingestuft und dementsprechend als Interessengebiet (*Area of Interest*, AOI) ausgewiesen. Häufig untersuchte Grössen sind deshalb auch die Betrachtungszeit und die Anzahl an Betrachtungen eines solchen AOI. Eine Betrachtung (*visit*) schliesst dabei alle Fixierungen innerhalb eines AOI während einer Betrachtung dieses AOI ein (Tobii AB, 2016). Generell wird davon ausgegangen, dass der Ort einer Fixierung des Betrachtenden einen Hinweis für dessen Aufmerksamkeit oder Gedanken ist (Fabrikant, Hespanha und Hegarty, 2010). Dementsprechend kann die Messung der Augenbewegung genutzt werden, um zu analysieren, wie eine Visualisierung wahrgenommen wird und wie der Informationsprozess abläuft. Gemäss Henderson und Ferreira (2004) erhalten informative Regionen einer Visualisierung mehr Fixierungen als nicht informative. Dementsprechend bündelt sich die Position von Fixierungen in Regionen visueller und semantisch informativer Regionen. Aber nicht nur der Ort der Fixierung, sondern auch die Dauer der Fixierung ist ein Mass für den Informationsgehalt einer Region in einer Visualisierung. Die Dauer der Fixierung korreliert mit der Anzahl Fixierungen. Regionen in einer Visualisierung, welche schwierig zum Analysieren sind oder für den Betrachtenden inkonsistent, werden mit höheren Wahrscheinlichkeit refixiert (Henderson, Weeks und Hollingworth, 1999).

Gemäss der Studie von Fabrikant, Hespanha und Hegarty (2010) haben die geographischen Designprinzipien (z.B. Hervorheben wichtiger Informationen) keinen Effekt auf die Effektivität bei der Beantwortung von Fragen. Jedoch konnten sie mit ihrer Eye-Tracking-Studie zeigen, dass das Design der Darstellung die Wahrnehmung und die Effizienz positiv beeinflusst, und konnten demnach Evidenz für die generell akzeptierten Designprinzipien liefern. Vor allem bei Personen ohne Vorwissen im kartographischen Bereich, hat die Wahl des Designs einen hohen Einfluss auf die Wahrnehmung und die Effizienz. Nach einem bestimmten Training zur Aufgabe, zeigte sich aber, dass die Testpersonen weniger von der Wahl des Designs beeinflusst wurden, da sie sich mehr auf aufgabenrelevante Bereiche fokussierten, als auf saliente (Fabrikant, Hespanha und Hegarty, 2010). Henderson, Weeks und Hollingworth (1999) zeigten, dass vor allem die erste Fixierung Stimuli abhängig ist (Bottom-up Effekt). Danach sind jedoch Top-Down Effekte entscheidend für den Prozess der Wahrnehmung. So wurde dargelegt, dass sowohl Bottom-up Effekte wie auch Top-Down Effekte den Prozess der Informationsaufnahme und dementsprechend der Augenbewegung beeinflussen.

Studien nehmen als Mass für die Effektivität eines bestimmten AOI meist die Zeitdauer, bis der Betrachtende die AOI zum ersten Mal fixiert (Garlandini und Fabrikant, 2009). Je kürzer die Zeit bis zur ersten Fixierung dieses AOI, desto effektiver wurde dieses AOI hervorgehoben. Die durchschnittliche Betrachtungszeit eines AOI ist hingegen ein Mass für Extrahierung und Interpretation von Informationen aus einer Darstellung, wobei die durchschnittliche Betrachtungszeit länger ist, wenn Personen Schwierigkeiten aufweisen, Informationen aus der Darstellung zu extrahieren und zu interpretieren (Jacob und Karn, 2003). Der Anteil der Betrachtungszeit eines bestimmten AOI in Relation zur Gesamtbetrachtungszeit kann zudem auf die Wichtigkeit des bestimmten Bereichs hindeuten, wenn der Anteil hoch ist (Jacob und Karn, 2003). Ist dieser Anteil hingegen tief, deutet dies auf eine schlechte Sucheffizienz hin (Goldberg und Kotval, 1999). Der Anteil kann aber auch einen Hinweis darauf sein, inwiefern dieses AOI visuell hervorsteht und demnach die Aufmerksamkeit des Betrachtenden auf sich zieht (Fabrikant, Hespanha und Hegarty, 2010). Die Anzahl Fixierungen eines AOI kann ebenfalls ein Mass für die Wichtigkeit dieses AOI sein (Jacob und Karn, 2003) und dieses AOI als hilfreich für die Suche nach einer bestimmten Information ausweisen (Goldberg und Kotval, 1999). Somit kann eine erhöhte Anzahl Refixierung auch ein Anzeichen für das erhöhte Interesse der betrachtenden Person in dieses AOI sein (Çöltekin, Fabrikant und Lacayo, 2010). Eine erhöhte Anzahl kann aber auch mit ineffizienter Suche nach Information und Unsicherheit verbunden werden (Goldberg und Kotval, 1999; Çöltekin, Fabrikant und Lacayo, 2010).

4 Methodik

4.1 Testpersonen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Experiment durchgeführt, bei welchem insgesamt 42 Personen befragt wurden. Die Personen wurden auf folgende Arten rekrutiert:

- Persönliche Bekannte
- Persönliche Anfrage per Mail oder in einer Vorlesung
- Onlineplattform und Mailingliste FAPS³ (Fachverein Psychologie) und FVMED⁴ (Fachverein Medizin)

Die Befragung fand im Zeitraum vom 18. Mai 2017 bis zum 19. Juni 2017 statt. Von den insgesamt 42 befragten Personen wurden die Daten von 7 Personen für die Auswertung nicht miteinbezogen, da bei dem Experiment technische Probleme auftraten, sie über zu viel Erfahrung im kartographischen Designbereich verfügten oder farbfahlsichtig waren.

4.2 Hilfsmittel

Das Experiment fand im Eye-Movement-Research Lab (EML) des geographischen Instituts der Universität Zürich (GIUZ) statt. In diesem Lab befindet sich der Eye-Movement Apparat (siehe folgendes Kapitel 4.2.1). Der Vorfragebogen wurde per Hand auf Papier ausgefüllt. Die Hauptbefragung fand mittels Onlinefragetool von Onlineumfragen⁵ statt. Für die statistische Auswertung wurden die Software Microsoft Excel 2016 und IBM SPSS Statistics 24 von IBM verwendet.

³ Fachverein Psychologiestudierende UZH: <http://www.faps.ch/maillinglist-und-forum/> (Zugriff: 20.04.2017)

⁴ Fachverein Medizinstudierende UZH: <http://www.fvmed.uzh.ch/> (Zugriff: 20.04.2017)

⁵ onlineumfragen.com GmbH: <https://onlineumfragen.com> (Zugriff: 10.03.2017)

4.2.1 Eye-Tracking

Das EML ist mit einem Eye-Tracking-System des Typus Tobii TX300⁶ ausgestattet. Die Datenrate beträgt 300 Hz und die Genauigkeit 0.4 deg. Die Darstellung erfolgt über einen Estecom Bildschirm mit einer Breite von 23'' und einer max. Auflösung von 1920 x 1080 Pixel. Die Eye-Tracking Software wird vom Hersteller Tobii betrieben und nennt sich Tobii Studio. Über diese Software kann das Eye-Tracking-Gerät angesteuert und bedient werden. Die Umfrage wurde, wie im nächsten Kapitel beschrieben, über ein Onlinetool erstellt. Der Link zur Umfrage konnte über die Software Tobii Studio eingebettet werden (via Web-Funktion). Die Onlineumfrage wurde danach über den Browser Internet Explorer aufgerufen. Das EML befindet sich in einem Raum ohne Fenster, damit immer gleiche Lichtverhältnisse bestehen. Die Lichteinstellung des Raum wurde daher immer gleich auf dem Maximum gewählt, damit alle Testpersonen bei gleichen Lichtbedingungen getestet wurden.



Abbildung 9: Eye Tracking Labor mit Tobii System (eigene Aufnahme).

4.2.2 Umfrage

Die Umfrage bestand aus einem Vorfragebogen auf Papier (siehe Anhang) und einer Hauptbefragung mit Hilfe des Online-Tools «Onlineumfrage» (siehe Anhang). Dieses Tool ermöglicht es, Fragebögen mit Visualisierungen zu erstellen. Eine Zusatzfunktion, welche in dieser Befragung genutzt wurde, gewährt die zufällige Wiedergabe der Fragen. Zudem wurde die benötigte Zeit zur Fragebeantwortung aufgezeichnet. Die Umfrage war in drei Teile (siehe Kapitel 4.5) unterteilt; Vorfragebogen, Hauptexperiment, Abschlussfrage.

4.3 Vorfragebogen

Im Vorabfragebogen (siehe Anhang) wurden allgemeine Informationen der Testpersonen eingeholt, wie Alter, Geschlecht, Beruf/Ausbildung, Farbfehlsichtigkeit, Erfahrung in Kartographie, GIS und Neurowissenschaften und Präferenz zur Farbdarstellung. Der Vorfragebogen wurde separat zum Hauptexperiment an einem Tisch auf Papier neben der Eye-Tracking-Station durchgeführt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um die Zeit am Bildschirm zu reduzieren, an dem die Testpersonen ruhig und möglichst ohne grosse Bewegung sitzen sollten. Der Vorfragebogen beinhaltete 10 Fragen. Unter Anderem wurden die Testpersonen auch auf ihre Farbwahrnehmung getestet, um zu prüfen, ob eine visuelle Beeinträchtigung vorliegt. Den Testperso-

⁶ Tobii Technology: www.tobii.com (Zugriff: 22.04.2017)

nen wurde die sogenannte Ishihara-Farbtafel (siehe Abbildung 10) vorgelegt. Eine Person mit einer normalen Farbwahrnehmung sieht dabei wie in Abbildung 10 a) dargestellt die «74». Für eine Person, welche eine Rot-Grün Farbfehlsichtigkeit hat, oftmals auch Deuteranopie genannt, ist die «74» nicht erkennbar, sondern ihre Wahrnehmung ähnelt der Abbildung 10 b) (Goldstein, 2009).

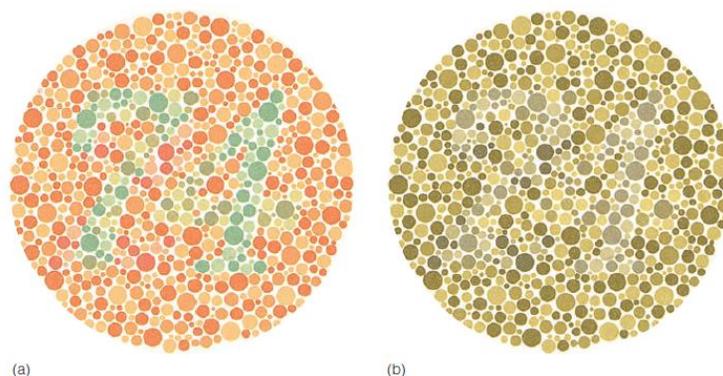


Abbildung 10: a) Ishihara-Farbtafel zur Prüfung der Farbwahrnehmung. Eine Person mit normaler Farbwahrnehmung sieht dabei die «74». Eine Person mit einer Farbfehlsichtigkeit die Variante b), wobei die «74» nicht erkennbar ist (aus (Goldstein, 2009).

4.4 Hauptexperiment

Der Hauptteil des Experiments untergliederte sich in drei Aufgaben. Zu Beginn jeder Aufgabe wurde kurz erklärt, wie die Aufgabe zu lösen ist und was die Testpersonen in den folgenden Visualisierungen erwarten wird. Den Testpersonen wurde zudem eine Visualisierung als Beispiel vorgelegt. Die Visualisierungen, welche den Testpersonen vorgelegt wurden, beinhalteten angepasste Hirnbilder aus der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015). Diese wurden ursprünglich von Steven Laureys⁷ vom Universitätsspital in Liège (Belgien) zur Verfügung gestellt und repräsentieren Aufnahmen einer Positronen-Emissions-Tomographie (PET). Bei dieser Tomographie wird einer Person radioaktive Glukose in die Blutbahn injiziert (die radioaktive Dosis ist sehr tief und darum harmlos). Das Gehirn benötigt Glukose. Je mehr Glukose vom Gehirn verbraucht wird, desto aktiver ist die entsprechende Hirnregion. Die PET misst den Verbrauch an radioaktiver Glukose in den verschiedenen Hirnregionen (Dumit, 2004).

Die Hirnbilder, welche ursprünglich mit den Farbskalen aus Abbildung 8 (siehe Kapitel 3.2) dargestellt waren, wurden für die in dieser Arbeit vorgenommene Studie in ESRI ArcMap 10.4.1⁸ überarbeitet. Die Visualisierungen waren bereits als ArcMap Dokumente von Gianluca Boo⁹ überarbeitet worden und konnten als mxd-Dokumente weiterverarbeitet werden. Die sequentielle Farbskala grün wurde mit blau ersetzt,

⁷ Vorsitzende Komaforschungsgruppe und klinische Professorin Neurologie

⁸ ESRI Inc.: <http://www.esri.com/products> (Zugriff: 06.09.2017)

⁹ Doktorand Abteilung Geographische Informationsvisualisierung und Analyse (GIVA), Universität Zürich

da die sequentielle Farbskala blau die häufigste verwendete Farbskala bei Farbskalen mit Farbhelligkeitsveränderungen bei Visualisierungen in neurowissenschaftlichen Journalen ist (Christen *u. a.*, 2013). Daher wurden die Farbskalen verwendet, wie sie in Abbildung 11 dargestellt sind. Die blaue Farbskala wurde via *Colorbrewerstyle*-Dokument in ArcMap eingefügt. Dieses Style-Dokument wurde früher von ESRI zur Verfügung gestellt. Heute ist es auf der Website von Reach Ressource Centre¹⁰ abrufbar.

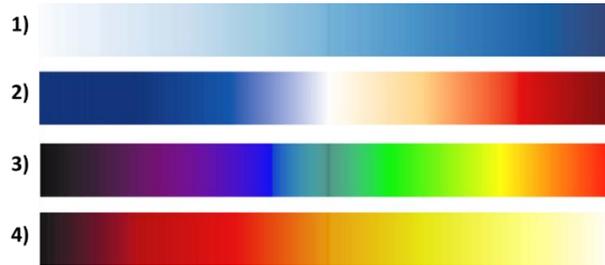


Abbildung 11: Verwendete Farbskalen: 1) sequentielle Farbskala blau (B), 2) divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot (BWR), 3) spektrale Farbskala (S), 4) Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (RG) (eigene Darstellung).

Diese Farbskalen stehen für die folgenden Konventionen bei den Designprinzipien:

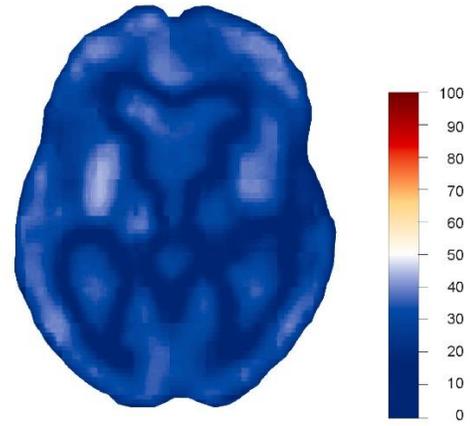
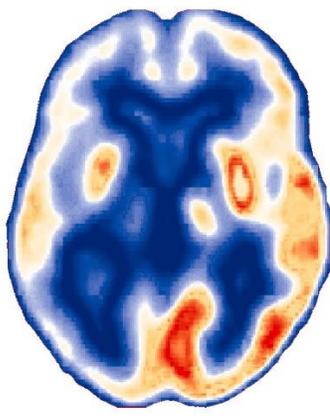
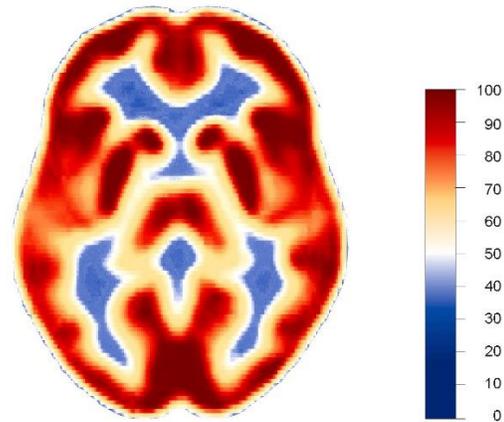
- 1) Sequentielle Farbskala blau (B): Dunkleres Blau für höhere Datenwerte (Brewer, 1994)
- 2) Divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot (BWR): Maximum und Minimum-Werte hervorheben (Brewer, 1997)
- 3) Spektrale Farbskala (S): Häufig verwendete Farbskala bei PET-Bildern (Christen *u. a.*, 2013)
- 4) Schwarzkörperstrahlung Farbskala (Schwarz-Rot-Gelb-Weiss) (RG): Häufig verwendete Farbskala bei fMRI-Bildern (Christen *u. a.*, 2013)

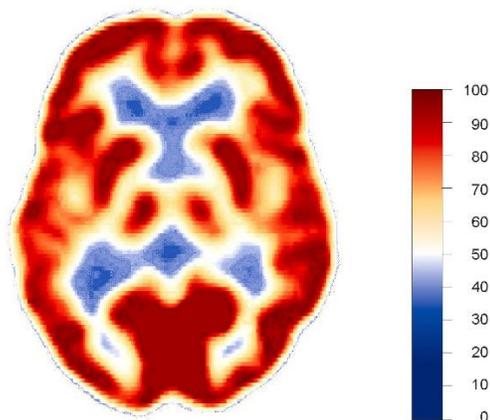
Für die dritte Aufgabe wurde zudem der Hintergrund zwischen Weiss und Schwarz variiert, um mögliche Unterschiede bei verschiedenen Hintergründen zu evaluieren. Da dieser Effekt durch die Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) nicht bestätigt werden konnte und die Aufgabentypen 1 und 2 analog zu dieser Studie gewählt wurden, wurde nur im letzten Aufgabenteil der Hintergrund als zusätzliche unabhängige Variable eingeführt.

Die in der Studie verwendeten Visualisierungen stellen verschiedene Hirnkarten dar, welche typische, in der Neurowissenschaft bekannte, Aktivitätsstadien entsprechen. Diese Hirnaktivitätsstadien sind in der folgenden Abbildung 12 ersichtlich. Diese zeigen, wieviel Glukose die Regionen im Gehirn verbrauchen und daher wie aktiv sie sind. Die Farblegende auf der rechten Seite ermöglicht es, die dargestellten Daten zu interpretieren, in dem die Aktivitätswerte bzw. der Glukoseverbrauch zwischen 0–100 angezeigt wird. Der tiefste Wert im unteren Bereich der Legende zeigt an, dass in der entsprechenden Hirnregion keine Glukose

¹⁰ Reach Resource Centre : <http://www.reachresourcecentre.info/arcgis-colorbrewer-color-ramp-style> (Zugriff: 05.01.2017)

verbraucht wird. Der höchste Wert im oberen Bereich der Legende bedeutet, dass in der entsprechenden Hirnregion maximaler Glukoseverbrauch gemessen wird. Bestimmte Regionen im Gehirn (z.B. Ventrikel im Zentrum des Gehirns) sind mit Hirnwasser (ähnliche Zusammensetzung wie Wasser) gefüllt und haben natürlicherweise einen tieferen Glukoseverbrauch (Christen, Brugger und Fabrikant, 2015, 2015).

**Hirntod****Vegetatives Stadium****Minimales Bewusstsein****«Locked in»-Syndrom**



Gesund

Abbildung 12: Typische Hirnaktivitätsstadien in der Neurowissenschaft. Dargestellt mit der divergierenden Farbskala BWR sowie einer Legende, welche den Glukoseverbrauch angibt.

Vor der ersten Aufgabe wurden die Testpersonen gefragt, inwiefern sie der Behauptung zustimmen, dass eine hirntote Person tot ist. Dabei konnten sie aus einer Auswahl von 5 Antworten eine auswählen, inklusive der Möglichkeit «keine Meinung dazu». Diese Frage diente zur Überprüfung der persönlichen Meinung bezüglich Hirntod (Christen, Brugger und Fabrikant, 2015, 2015). Das Hauptexperiment beinhaltete insgesamt 37 Fragen, welche jeweils mit der Einschätzung von Hirnaktivität zu tun hatten. Die Fragen wurden in 3 verschiedene Aufgabenbereiche unterteilt. Für jeden Aufgabenbereich gab es zuerst eine kurze Einführung auf einer separaten Seite. Anschliessend wurden die Fragen gezeigt. Eine Frage beinhaltete jeweils eine Webseite mit der Fragestellung, Hirnkarte, Legende sowie Antwortmöglichkeit. Das komplette Hauptexperiment ist im Anhang ersichtlich.

4.4.1 Aufgabe 1

In der ersten Aufgabe wurden die Testpersonen gebeten, insgesamt acht Hirnkarten zu betrachten und zu beurteilen, ob sie der Meinung des Forschers oder der Forscherin, welche ihnen oberhalb der Karte vermittelt wurde, zustimmen. Diese Aufgabenstellung wurde analog zur Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) gestellt. Eine Antwort konnte in einer 8 Punkte Likert-Skala zwischen «Ich stimme zu» und «Ich stimme nicht zu» angegeben werden (siehe Abbildung 13). In dieser Aufgabe wurden den Testpersonen die beiden Hirnaktivitätsstadien «Gesund» und «Hirntod» in den vier verschiedenen Farbskalen gezeigt. Dazu wurde zu den Hirnkarten, welche ein gesundes Gehirn zeigten, die folgende Aussage vorgelegt:

«Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit normalem Bewusstsein darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.»

Das gleiche wurde bei den Bildern mit einem hirntoten Stadium folgendermassen durchgeführt:

«Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein totes Gehirn darstellt. Dementsprechend ist die Durchblutung des Gehirns unterbrochen sodass kein Sauerstoff mehr das Gehirn erreicht. Dies hat zur Folge, dass die Zellen im Gehirn keine Glukose mehr verbrauchen.»

Die Reihenfolge der Hirnkarten wurde durch das Onlinefragetool zufällig generiert, um Lerneffekten vorzubeugen (vergl. Martin, 2008). Ziel der Aufgabe 1 war, den Testpersonen die beiden «extrem»-Stadien, normales Gehirn und hirntotes Gehirn, in den vier verschiedenen Farbskalen zu zeigen.

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.

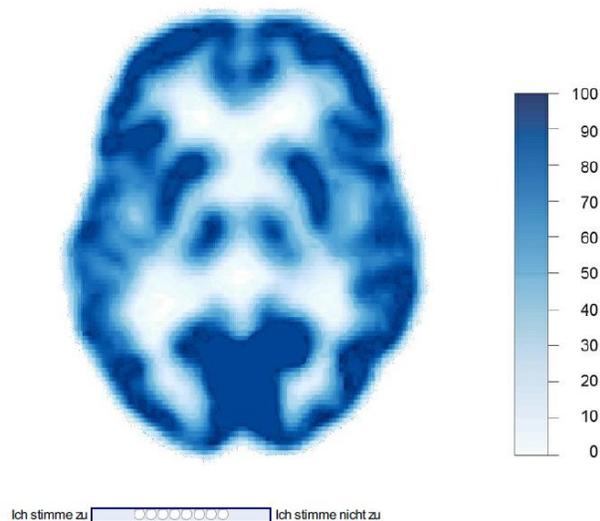


Abbildung 13: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 1. Visualisierung eines gesunden Gehirns in der sequentiellen Farbskala Blau dargestellt.

4.4.2 Aufgabe 2

Bei der Aufgabe 2 wurde den Testpersonen pro Frage eine Visualisierung eines Gehirns im Bereich zwischen normaler Funktion und Hirntot gezeigt (siehe die in Abbildung 14 gezeigten fünf Stadien). Die Testpersonen wurden gebeten, das gezeigte Bild einem Bereich zwischen «totem Gehirn» und «normalem Gehirn» zuzuordnen. Die Aufgabe 2 umfasste 21 Seiten; eine Einführung und 20 Fragen. In der Einführung wurden die Testpersonen informiert, dass die zuvor gesehenen Visualisierungen in Aufgabe 1 die beiden Extremstadien repräsentierten. Die Fragen der Aufgabe 2 wurden wiederum in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Wie bereits in Aufgabe 1 wurde jeweils abhängig vom gezeigten Stadium eine Aussage eines Forschers oder einer Forscherin vorgelegt. Die Aussagen sind im Anhang ersichtlich. Die Testpersonen konnten

nun in der Antwortskala unterhalb des Bildes auswählen, welche ihrer Meinung nach die beste Repräsentation des Bewusstseinsstadiums des Gehirns zeigt. Dieser Fragetyp wurde auf ähnliche Weise auch in der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) verwendet. Jedoch wurde hier eine 5 Punkte Likert-Skala anstatt einer 7 Punkte Skala gewählt. Bei der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2016) wurde zudem jeweils die beiden Extremstadien in der Antwortskala an den beiden Enden gezeigt. Diese Hilfestellung wurde hier nicht verwendet, da befürchtet wurde, dass dies die Augenbewegung zu stark auf die Antwortskala beeinflussen könnte. Die 5 Punkte Likert-Skala wurde gewählt, um auch die Effektivität der Antworten zu überprüfen, indem eindeutig eine korrekte Antwort angegeben werden konnte.

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **minimalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, diese Person hat ein schwer beschädigtes Gehirn, teilweises Bewusstsein ist aber noch vorhanden. Die Person zeigt ein minimales, aber klares Anzeichen von Eigen- und Umweltwahrnehmung. Dieses Stadium zeigt reduzierte Hirnaktivität bei einer PET-Messung.

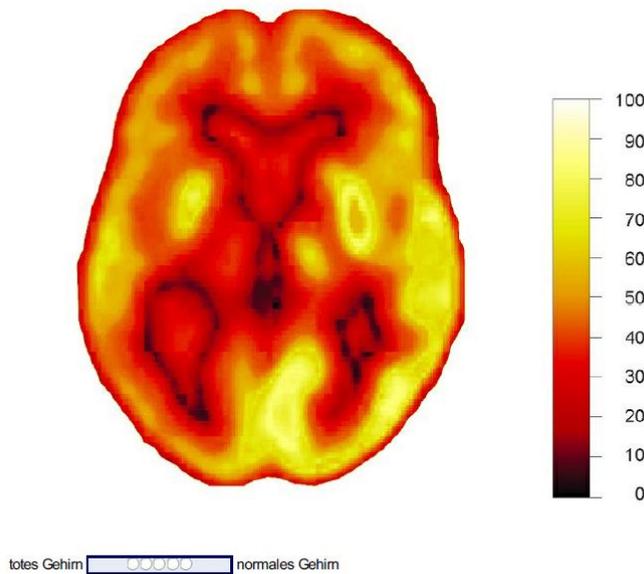


Abbildung 14: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 2. Visualisierung eines Gehirns mit minimalem Bewusstsein in der Farbskala RG dargestellt.

4.4.3 Aufgabe 3

Bei Aufgabe 3 wurden die Testpersonen gebeten, bestimmte Wertebereiche in den Visualisierungen zu quantifizieren. Es wurden jeweils drei Bereiche in der Visualisierung mit einem Kreis markiert, bei welchen die Aktivität bestimmt werden musste. Dafür diente die Legende als Hilfestellung. Die Aktivität konnte zwischen 0–100 in 10-er Schritten angegeben werden. Die Visualisierungen stellten alle ein Gehirn im Locked-in Stadium dar. Dieses Stadium wurde gewählt, da bei diesem gewisse Abweichungen zum «Normalzustand» bestehen. Die Fragen richteten sich auf Bereiche, welche vom gesunden Stadium visuell abwichen. Zudem wurde in diesem Teil auch die Hintergrundfarbe der Visualisierung zwischen Weiss und Schwarz

variiert. Die Aufgabe 3 umfasste insgesamt neun Seiten; eine Seite für die Einführung und pro Frage eine Seite. Die Fragen wurden wiederum in zufälliger Reihenfolge den Testpersonen gezeigt.

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

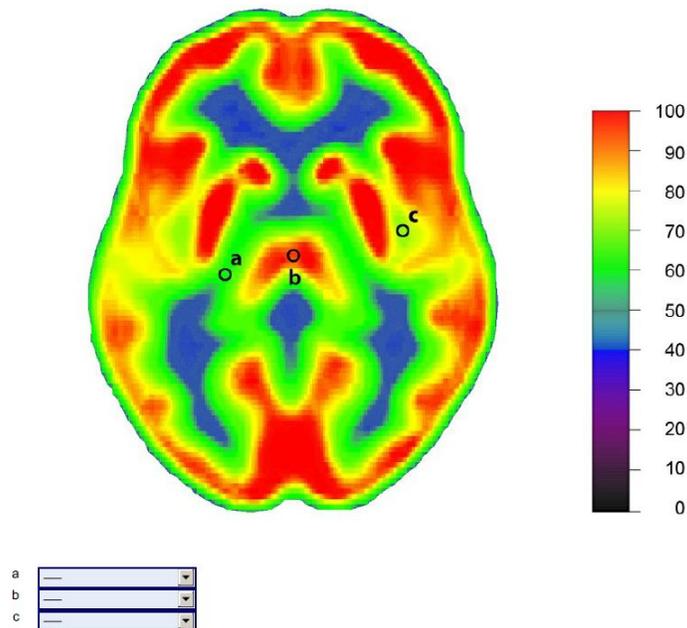


Abbildung 15: Beispiel einer Frage aus Aufgabe 3. Locked-In Stadium visualisiert mit der spektralen Farbskala.

4.4.4 Schlussfrage

Das Experiment wurde damit abgeschlossen, dass die Testpersonen befragt wurden, welche Farbskala sie präferieren. Sie wurden gefragt, welche der vier Farbskalen aus Abbildung 11 sie wählen würden, um Daten betreffend die Aktivität eines Gehirns darzustellen. Diese Frage wurde wiederum schriftlich auf Papier beantwortet.

4.5 Experimentdesign

Vor der Hauptstudie wurde ein Pilotexperiment durchgeführt, um alle Prozesse und Levels des Experiments zu testen (vergl. Martin, 2008). Es wurden daher zuerst drei Personen für einen Testlauf eingeladen. Der Ablauf der Studie wurde geprüft und unter Berücksichtigung der erhaltenen Feedbacks der Testpersonen angepasst. Das Experiment lief streng nach einem Ablaufprotokoll ab (siehe Anhang, angepasst aus (Brügger, 2015)), damit alle Testpersonen die gleichen Bedingungen und Informationen erhielten. Das Experiment dauerte ca. 30 Minuten. Die Testpersonen wurden per Mail oder persönlicher Einladung, Aushang am schwarzen Brett, Onlineplattformen sowie an Vorlesungen auf die Studie aufmerksam gemacht. Es wurde ein Doodle-Link¹¹ bereitgestellt, damit die Teilnehmenden sich für einen freien Termin eintragen

¹¹ Doodle AG : www.doodle.com (Zugriff: 07.05.2017)

konnten. Die Eintragung erfolgte anonymisiert. Bei der Doodle-Seite wurden alle Informationen der Studie angegeben.

Es gab kein Zeitlimit zur Absolvierung des Experiments, um den Effekt des Faktors Zeit zu minimieren. Es wurde zwar in der Studie von Wilkening und Fabrikant (2011) herausgefunden, dass ein moderater Zeitdruck die Leistung in einer Kartenevaluationsaufgabe verbessern kann. Es wurde aber auch gezeigt, dass ein zu hoher Zeitdruck die Effektivität wiederum reduzieren kann (Wilkening und Fabrikant, 2011).

Zu Beginn des Experiments wurde jeweils das Einwilligungsfeld mit allen Informationen zum Experiment abgegeben, welches durch die Testpersonen unterschrieben werden sollte. Anschliessend erhielten sie den Vorfragebogen mit zehn Fragen auf Papier. Sobald dieser ausgefüllt war, wurden die Testpersonen gebeten, an den EML-Computer zu sitzen. Eine kurze Info zum Eye-Tracking-Gerät wurde abgegeben und die Kalibration gestartet. Es wurde eine 9 Punkte Kalibration mit weissem Hintergrund und roten Punkten durchgeführt. Der weisse Hintergrund wurde gewählt, da die ersten beiden Aufgaben mit weissem Hintergrund designt wurden, und sich somit die Kalibration auf diesen Zustand der Augen einstellte. Sobald die Kalibration abgeschlossen war, konnte mit dem Hauptfragebogen gestartet werden. Am Ende wurden die Testpersonen gebeten, erneut die Frage der Präferenz der Farbskala zu beantworten.

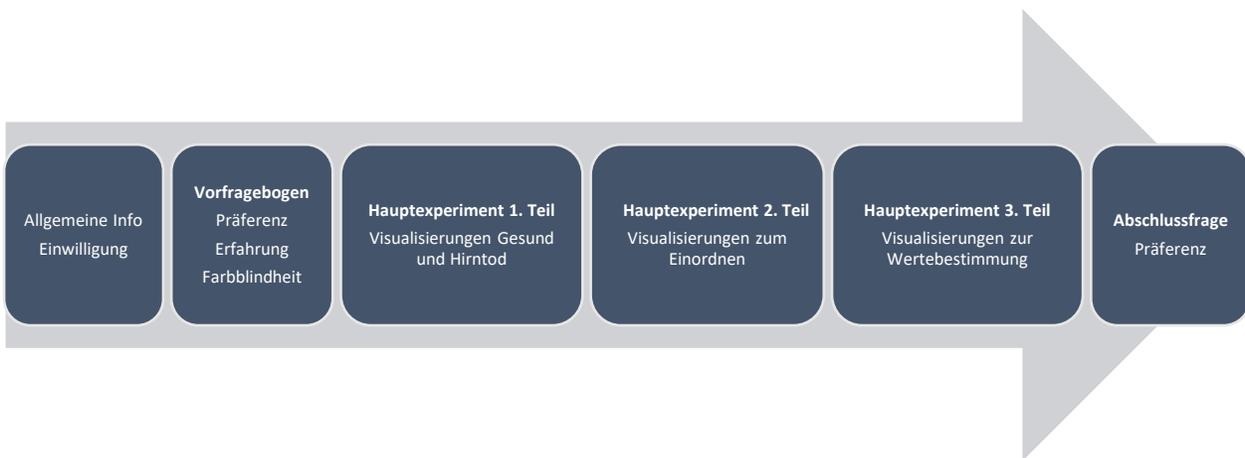


Abbildung 16: Experimentdesign (eigene Graphik).

Die Reihenfolge der Aufgaben (Teil 1, 2 und 3 des Hauptexperiments) war bei allen Testpersonen gleich. Innerhalb der Aufgaben wurden die Fragen randomisiert, um Lerneffekten vorzubeugen. Alle Testpersonen haben somit die gleichen Fragen zu den gleichen Bildern gesehen (wenn auch in unterschiedlicher Reihenfolge), was einem *within-subject*-Design entspricht. Wenn jede Visualisierung einer anderen Testperson vorgelegt würde, wäre es *between-subject*-Design (vergl. Martin, 2008). Der Vorteil an *within subject*- gegenüber dem *between-subject*-Design ist, dass weniger Testpersonen benötigt werden. Zudem werden die individuellen Unterschiede zwischen den Testpersonen minimiert und die Aussagestärke der statistischen

Tests ist höher. Diese Art von Design jedoch hat auch einen Nachteil: Testpersonen verändern durch die erste Konfrontation mit der unabhängigen Variable ihr Verhalten, werden schneller oder langsamer, weniger aufmerksam oder lernen nach und nach dazu (Martin, 2008). Solchen Reihenfolgeeffekten kann nach Martin (2008) mit dem sog. *counterbalancing* entgegengewirkt werden, in dem die o.g. Effekte gleichermassen auf die unabhängige Variable verteilt werden, indem die Reihenfolge der Fragen randomisiert wird, was vorliegend getan wurde.

4.5.1 Unabhängige Variable

Als unabhängige Variablen wurden die Farbskalen sowie in Aufgabe 3 zusätzlich die Hintergrundfarbe gewählt. Die Variable «Farbskala» hat vier verschiedene Stufen: sequentielle Farbskala Blau (B), divergierende Farbskala Blau-Weiss-Rot (BWR), spektrale Farbskala (S) und Schwarzkörperstrahlung Farbskala Schwarz-Rot-Gelb-Weiss (RG). Die Hintergrundfarbe variierte in der Aufgabe 3 zwischen Schwarz und Weiss und diese Variable hatte dementsprechend zwei Stufen. Der Bottom-Up Effekt wie auch den Top-Down Effekt wurden miteinbezogen, in dem zusätzlich die Erfahrung in der Interpretation oder Erstellung von Hirnkarten als Kontrollvariable berücksichtigt wurde. Es wurden 20 Personen ohne Erfahrung und 15 Personen mit Erfahrung in der Interpretation und oder Erstellung von Hirnkarten befragt.

4.5.2 Abhängige Variablen

Um das Verhalten der Testpersonen in Bezug auf die unabhängigen Variablen zu messen, werden verschiedene abhängige Variablen eingeführt, welche standardmässig für die Überprüfung der Nutzbarkeit der Visualisierung verwendet werden. Diese werden häufig SEE genannt, was *satisfaction*, *efficiency* und *effectiveness* bedeutet (Çöltekin u. a., 2009) und wurden auch für diese Studie verwendet. Sie werden im Folgenden kurz erläutert. Es wurde jedoch nicht die Zufriedenheit (*satisfaction*), sondern die Präferenz der Farbskala, als weitere abhängige Variable eingeführt. Neben der Effizienz (*efficiency*) und der Effektivität (*effectiveness*) wurde zusätzlich auch die Variabilität als unabhängige Variable gewählt, wie auch in der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015). Um dieses Set an abhängigen Variablen für den Bereich des Prozesses der Informationsaufnahme zu erweitern, wurden zusätzlich drei Variablen aus der Augenbewegungsaufzeichnung gewählt: Die mittlere Zeit pro Betrachtung eines Interessengebiets, Anteil der Zeit der Betrachtung eines Interessengebiets an der Gesamtbetrachtungszeit und Anzahl Betrachtungen in diesem Interessengebiet.

Variabilität

In allen drei Aufgaben konnten die Testpersonen eine Auswahl treffen. In Aufgabe 1 beinhaltete diese einen bestimmten Grad der Zustimmung zu einer Aussage betreffend eine Hirnkarte, in Aufgabe 2 die Einstufung des Stadiums der Funktionalität eines dargestellten Gehirns und in Aufgabe 3 die Aktivitätswerte von drei hervorgehobenen Bereichen einer Hirnkarte. Die resultierenden Daten aus den Antworten der Likert-Skala

der Aufgabe 1 und 2 wurden als intervallskaliert betrachtet (vergl. Field, 2009). Somit konnte aus den Antwort ein Mittelwert über die Antworten generiert werden mit der folgenden Formel (Field, 2009):

$$\text{Mittelwert } X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

wobei x_i die Aussage der jeweiligen Testperson i ist und n die Anzahl Testpersonen oder Aussagen. Um die Variabilität zu erhalten, wurde vom Mittelwert die absolute Abweichung der Antwort jeder Testperson berechnet und anschliessend pro Farbskala gemittelt.

Effektivität

Die Korrektheit der Antworten wird als Mass für die Effektivität gewählt (Çöltekin *u. a.*, 2009). In Aufgabe 2 und 3 gab es zu jeder Frage eine korrekte Antwort. Bei Aufgabe 1 wurde die Effektivität nicht analysiert, da diese nur wenig aussagekräftig wäre, da diese Aufgabe vor allem dazu diente, die Testpersonen über die beiden «extrem»-Stadien des Gehirns zu informieren und ihr generelles Vertrauen mit den Bildern zu testen. Bei Aufgabe 2 und 3 wurde die Effektivität als abhängige Variable gewählt, wobei das Mass an Effektivität mit zwei verschiedenen Ratings eruiert wurde.

Bei Aufgabe 2 konnten die Testpersonen pro Frage 3 Punkte erreichen. Die 3 Punkte wurden vergeben, wenn die Einstufung des Stadiums korrekt war. Wenn die Einstufung um einen Schritt darüber oder darunter lag, wurden 2 Punkte verteilt, bei zwei Stufen darüber oder darunter 1 Punkt. Darüberhinausgehende Abweichungen wurden mit 0 Punkten bewertet. So konnte gewährt werden, dass auch Antworten, welche nahe zur korrekten Antwort lagen, in die Ermittlung der Effektivität einbezogen wurden.

Bei Aufgabe 3 wurde die Effektivität berechnet, indem die Testpersonen einen Punkt pro Frage erhielten, wenn die Reihenfolge der bestimmten Werte korrekt war. Das heisst, wenn eine Testperson die Werte so bestimmt hat, dass der tiefste Wert am tiefsten und der höchste Wert am höchsten eingestuft wurde, erhielt sie einen Punkt.

Effizienz

Die Effizienz wurde zusätzlich zur Effektivität für alle drei Aufgaben ermittelt. Dabei wurde die Zeit bis zur Antwort pro Farbskala als metrische Umschreibung der Effizienz gewählt (Çöltekin, Fabrikant und Lacayo, 2010). Die Zeit bis zur Antwort wurde für die Farbskalen aggregiert und gemittelt. Die Zeitmessung erfolgte durch das Onlineumfrage-Tool und wurde in der Einheit Sekunden gespeichert.

Augenbewegung

Die Augenbewegungsmessung erfolgte über das Eye-Tracking-System Tobii. Als *Area of Interest* (AOI) wurden die Hauptkarte und die Legende definiert (wie in Abbildung 17 ersichtlich), um damit zu analysieren, wie die Betrachtung zwischen Legende und Hauptkarte variiert je nach Farbskala.

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.

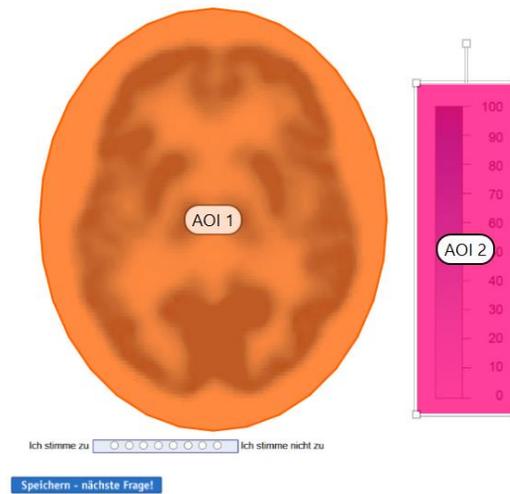


Abbildung 17: AOI für die Analyse der Augenbewegung. AOI 1: Hirnkarte, AOI 2: Legende.

Die Augenbewegungen wurden über drei verschiedene Variablen quantifiziert. Erstens wurde die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung gewählt, welche beschreibt, wie lange durchschnittlich eine Person mit ihrem Blick innerhalb eines bestimmten AOI pro Betrachtung verweilt. Dazu wird die Dauer aller Betrachtungen des AOI summiert und durch die Anzahl Betrachtungen des AOI dividiert (Tobii AB, 2016). Zweitens wurde die gesamte Betrachtungszeit für ein bestimmtes AOI gewählt, welche die gesamte Dauer der Betrachtung des jeweiligen AOI beschreibt. Dabei wird die Dauer aller Betrachtungen summiert und durch die Gesamtbetrachtungsdauer der ganzen Visualisierung dividiert. Da dies eine Relativierung darstellt, wurde der Anteil als % ausgegeben. Drittens wurde die Anzahl Betrachtungen eines bestimmten AOI gewählt. Mehrere Fixierungen innerhalb des gleichen AOI und ohne zwischenzeitliches Verlassen des AOIs werden als eine Betrachtung gezählt (Tobii AB, 2016).

Das folgende Schema wurde für die Auswertung der Eye-Trackingdaten zusammengestellt, welches für die beiden AOI, Hirnkarte und Legende, differenziert wurde und auf den Annahmen von Jacob und Karn (2003), Fabrikant, Hespanha und Hergarty (2010), Çöltekin, Fabrikant und Lacayo (2010) und Goldberg und Kotval (1999) basiert, welche im Kapitel 3.3.3 diskutiert wurden:

Tabelle 4.1: Auswertungsschlüssel für die Eye-Tracking Resultate.

	Hirnkarte	Legende
Zeit pro Betrachtung [s]	Ist die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung einer Hirnkarte mit Farbskala A kürzer als einer mit Farbskala B, so wird da-	Ist die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung einer Legende mit Farbskala A kürzer als einer mit Farbskala B, so wird davon ausgegangen, dass aus kürzer betrachteten

	<p>von ausgegangen, dass aus der kürzer betrachteten Visualisierung weniger Informationen extrahiert wurden. Die Betrachtenden waren visuell weniger fokussiert und wechselten zum Beispiel schneller wieder zum Text oder der Legende. Möglich ist auch ein Vergleich innerhalb einer Visualisierung zwischen den Gruppen «Laien» und «Experten», um zu analysieren, ob eine der beiden Gruppen aus einer bestimmte Visualisierung mehr Informationen erlangen konnte.</p>	<p>Legende schneller Informationen entnommen werden konnten. Ist die Betrachtungszeit länger, war die Informationsextraktion schwierig. Möglich ist auch ein Vergleich innerhalb einer Legende zwischen den Gruppen «Laien» und «Experten», um zu analysieren, ob eine der beiden Gruppen die Legende besser verarbeiten konnte.</p>
<p>Anteil der Betrachtungszeit [%]</p>	<p>Ist der Anteil der Betrachtung der Hirnkarte im Vergleich zur Betrachtungszeit der Legende gross, wurde die Hirnkarte als interessant und wichtig wahrgenommen, ist sie tief, als eher unwichtig.</p>	<p>Ist der Anteil der Betrachtung der Legende im Vergleich zur Betrachtungszeit der Hirnkarte gross, wurde die Legende lange konsultiert. Eine vermehrte und lange Konsultation der Legende deutet darauf hin, dass die Hirnkarte nicht intuitiv verstanden wurde.</p>
<p>Anzahl Betrachtungen</p>	<p>Ist die Anzahl der Betrachtung der Hirnkarte A grösser als bei Hirnkarte B, so wird davon ausgegangen, dass Karte A von den Betrachtenden als interessanter und wichtiger wahrgenommen wurde, da die Betrachtenden vermehrt zur Hirnkarte zurückgekehrt sind. Möglich ist auch ein Vergleich innerhalb einer Visualisierung zwischen den Gruppen «Laien» und «Experten», um zu analysieren, ob eine der beiden Gruppen die Hirnkarte als interessanter eingestuft hat als die andere.</p>	<p>Ist die Anzahl der Betrachtung der Legende bei Hirnkarte A grösser als bei Hirnkarte B, so wird davon ausgegangen, dass die Datenextraktion aus der Hirnkarte A mit mehr Schwierigkeiten und Unsicherheiten behaftet war und deshalb vermehrt eine Abgleichung mit der Legende erforderlich war. Möglich ist auch ein Vergleich innerhalb der Legende einer Visualisierung zwischen den Gruppen «Laien» und «Experten», um zu analysieren, ob eine der beiden Gruppen bei einer bestimmten Hirnkarte weniger stark auf die Legende angewiesen war.</p>

Bei der Zeit pro Betrachtung werden die Resultate betreffend Hirnkarte und Legende nicht in die gleiche Richtung interpretiert, da die beiden AOI in ihrem Zweck unterschiedlich sind. Die Legende einer Visualisierung wird nicht als speziell interessanter Bereich gesehen, sondern als Hilfe, um Informationen aus der Hauptkarte zu extrahieren. In Abweichung von Jacob und Karn (2003), kann deshalb ein hoher Anteil der Betrachtungszeit nicht stets mit dem Interesse an diesem Bereich gleichgesetzt werden. Im Falle der Legende ist eine lange Zeit pro Betrachtung ein Indiz dafür, dass die Legende zum Verständnis der Hirnkarte mehr konsultiert werden musste. Das grundsätzlich gleiche Prinzip gilt auch betreffend Anzahl Betrachtungen.

Die Gazeplots, welche in Abbildung 35 dargestellt sind, wurden mit Hilfe der Software Tobii Studio erstellt. Die Gazeplots zeigen die durchschnittliche, relative Betrachtungszeit aller Testpersonen, welche die Fixierungsdauer relativiert zur Gesamtbetrachtungsdauer anzeigt (Tobii AB, 2016). Je heller der Bereich desto länger wurde dieser betrachtet. Der Radius wurde bei 50 Pixel angesetzt.

4.6 Statistik

Die oben erwähnten Variablen wurden schliesslich auf die vier verschiedenen Farbskalen sowie bei Aufgabe 3 auf die verschiedenen Hintergründe aggregiert und statistisch ausgewertet. Die Auswertung erfolgte mit der Software SPSS¹² und Microsoft Excel¹³. Die Resultate wurden als signifikant eingestuft, wenn der p-Wert weniger als ($<$) 0.05 betrug. Die Mittelwerte der abhängigen Variablen wurden in Balkendiagrammen dargestellt. Das Testverfahren wurde anhand des Experimentdesigns gewählt. Da es sich um ein *within-subject* Design handelt, wobei alle Testpersonen alle Fragen beantworteten und die unabhängige Variable mehrere Stufen aufweist, wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt (Field, 2009). Der Vorteil einer solchen ANOVA ist, dass mehrere Mittelwerte miteinander verglichen werden können, wobei der Fehler 1. Art nicht, wie bei der Durchführung von mehreren t-Test, zunimmt (Field, 2009). Da eine ANOVA nur angibt, ob ein signifikanter Effekt vorliegt oder nicht (sog. Omnibus-Test), wurde bei einem signifikanten Effekt post-hoc Tests durchgeführt, welche paarweise Vergleiche mit einer Bonferroni-Anpassung beinhalteten. Zudem wurden einfache und wiederholte Kontraste zur vertieften Analyse beigezogen. Wenn die Sphärität verletzt wurde (d.h. Mauchly-Test mit $p < 0.05$), wurde die Greenhouse und Geisser Korrektur angewendet, welche die Anpassung der Freiheitsgrade beinhaltete (Field, 2009). Wenn die Voraussetzung der Normalverteilung nicht gegeben war, wurde das nicht-parametrische Testverfahren gewählt. Dafür wurde eine Friedman's Anova durchgeführt. Bei signifikanten Resultaten wurde auch bei diesem Testverfahren ein paarweiser Vergleich mit einer Bonferroni Anpassung durchgeführt. Die Untersuchung des Einflusses der Erfahrung wurde mittels einer Mixed-Design-Anova getestet.

¹²IBM: <https://www.ibm.com/analytics/ch/de/technology/spss/index.html> (Zugriff: 02.07.2017)

¹³Microsoft Excel: <https://products.office.com/de-ch/excel> (Zugriff: 02.07.2017)

Die Untersuchung des Einflusses des Hintergrunds in Aufgabe 3 wurde mittels mehrfaktorieller Anova getestet.

Die beschreibende Statistik wurde mit Mittelwert (M) und dem Standardfehler (SE) angegeben. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung wurde mit dem F-Wert, der Freiheitsgrade, dem p-Wert sowie dem partiellen Eta-Quadrat (η^2) angegeben. Bei der Friedman's Anova wurde das Chi-Quadrat, der p-Wert und die Effektgrösse angegeben. Die Effektgrösse wurde nach der folgenden Formel aus Field (2009) berechnet:

$$r = Z/\sqrt{N},$$

«r» ist dabei die Effektgrösse, welche durch den z-Wert und der Studiengrösse (N) geschätzt wird. Der z-Wert wird durch SPSS angegeben, und für N wird die Anzahl Observationen genommen (Field, 2009). Cohen (1988) unterscheidet dabei einen kleinen Effekt mit $r=0.1$, einen mittelgrossen Effekt mit $r=0.3$ und einen grossen Effekt bei $r=0.5$.

Die Korrelation zwischen Vertrauen in die Visualisierung und die Zustimmung zur Aussage, dass eine hirntote Person tot sei, wurde mittels Spearman Korrelation untersucht, da die Daten nicht normalverteilt waren. Die Resultate der Korrelationsanalyse wurden mit dem Spearman-Rho, der Signifikanz und der Stichprobengrösse angegeben.

Die Balkendiagramme wurden mit der Software Microsoft Excel erstellt. Bei den Balkendiagrammen handelt es sich jeweils um die Darstellung des Mittelwerts sowie des zweifachen Standardfehlers. Die signifikanten Unterschiede wurden in den Balkendiagrammen mit einem Stern (*) nach der folgenden Regel markiert: $p<0.05$ ein Stern (*), $p<0.01$ zwei Sterne (**) und $p<0.001$ drei Sterne (***)

5 Resultate

An der Studie haben insgesamt 41 Personen teilgenommen. 3 Personen mussten aufgrund von Serverproblemen ausgeschlossen werden, 3 weil sie zu grossen Vorkenntnissen in den Visualisierungsprinzipien hatten und 1 weil sie farbenblind war. Von den 35 Personen, welche für die Auswertung berücksichtigt werden konnten, waren 22 männlichen und 13 weiblichen Geschlechts. 20 der Testpersonen wiesen keine oder nur sehr geringe Vorkenntnisse resp. Erfahrung im Bereich von neurowissenschaftlicher oder geographischer Datenvisualisierung auf und wurden entsprechend in die Gruppe «Laien» aufgenommen. 15 Personen wurden demgegenüber für die Gruppe «Experten» gesampelt. Diese verfügten alle über eine gewisse Erfahrung im Bereich neurowissenschaftlicher Visualisierungen (siehe Abbildung 18). Im folgenden Kapitel werden die Angaben im Vorfragebogen deskriptiv ausgewertet. Zur Vereinfachung werden die Farbskalen jeweils mit ihrer Abkürzung verwendet (spektrale Farbskala = S, divergierende Farbskala = BWR, sequentielle Farbskala = B, Schwarzkörperstrahlung-Farbskala = RG).

5.1 Vorabfragebogen

Bei den Teilnehmenden handelte es sich um vorwiegend junge Personen. Das durchschnittliche Alter betrug 27 Jahre. In der Gruppe «Laien» wurden mehrheitlich Studenten aus verschiedenen Fachrichtungen befragt (z.B. Mathematik, Psychologie, Biologie). Geographiestudierende wurden ebenfalls befragt und in die Gruppe «Laien» eingeteilt, doch wurde darauf geachtet, dass sie maximal zwei Semester Geographie studiert hatten, damit die Kenntnisse bezüglich Visualisierungsprinzipien gering sind. Bei der Gruppe «Experten» wurden sowohl Medizinstudenten ab 4. Semester wie auch (Assistenz)-Ärzte und -ärztinnen sowie Doktoranden und Post-Doktoranden im Bereich Neurowissenschaft oder Ähnlichem befragt.

Die folgende Abbildung 18 zeigt genauer, inwiefern diese Gruppe «Experten» Erfahrung in dem Bereich funktioneller Bildgebung hat.

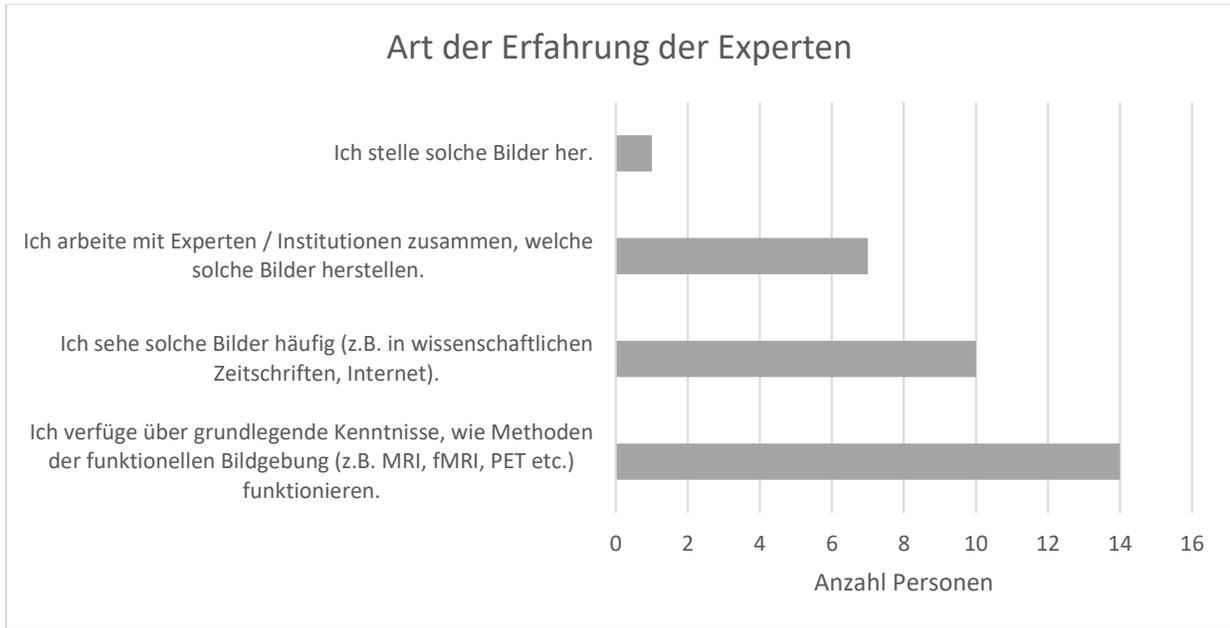


Abbildung 18: Rückmeldungen der 15 Personen aus der Gruppe «Experten» bezüglich Erfahrung (Mehrfachnennungen möglich).

Bei der Frage der Präferenz mussten die Testpersonen einerseits zu Beginn der Befragung und andererseits am Ende ihre Präferenz betreffend angeben. Die Testpersonen wurden dementsprechend gefragt, welches der vier verschiedenen Farbskalen (B, S, BWR oder RG) sie wählen würden, um die Aktivität eines Gehirns darzustellen (siehe Anhang). Bei Farbskala S hat die Anzahl der Präferenzen zugenommen, bei B und BWR war sie rückläufig und bei RG konstant. Während Farbskala BWR vor dem Experiment die am meisten priorisierte Farbskala war (eine Nennung mehr als Farbskala S), wurde Skala S nach dem Experiment am häufigsten präferiert (siehe Abbildung 19).

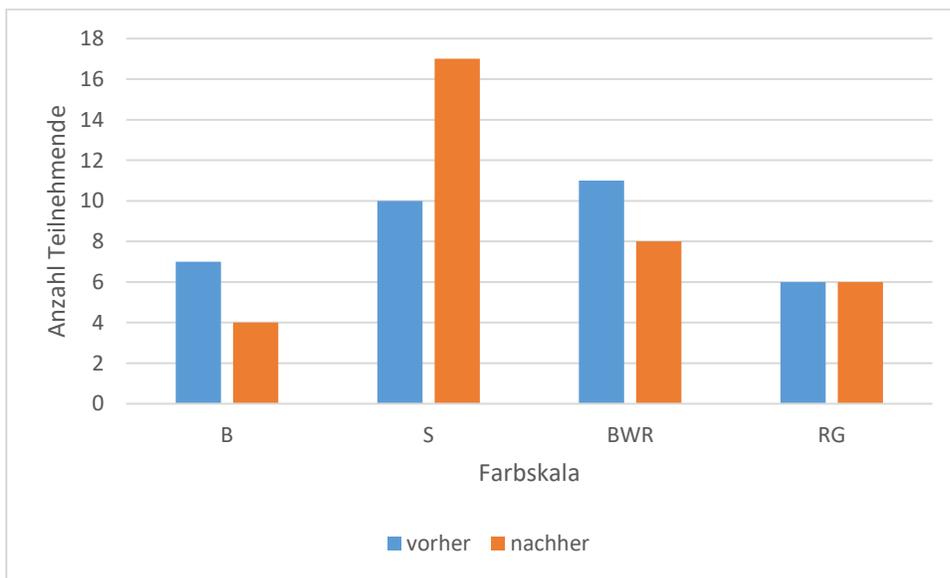


Abbildung 19: Auswertung Vorfragebogen Präferenz, Auswahl der Farbskala vor und nach dem Experiment.

Die Gesamtzeit des Ausfüllens betrug durchschnittlich 15 Minuten. Es wurde keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden, $F(1,33)=0.003$, $p>0.05$.

5.2 Vertrauen

Die Zustimmung der befragten Personen zur Aussage, dass eine hirntote Person tot ist, kann aus der folgenden Abbildung 20 abgelesen werden. Von den 35 befragten Personen haben 29 der Aussage teilweise oder vollkommen zugestimmt, dass eine hirntote Person tot sei. 4 Personen haben teilweise oder vollkommen nicht zugestimmt. 2 Personen hatten keine Meinung zu der Aussage.

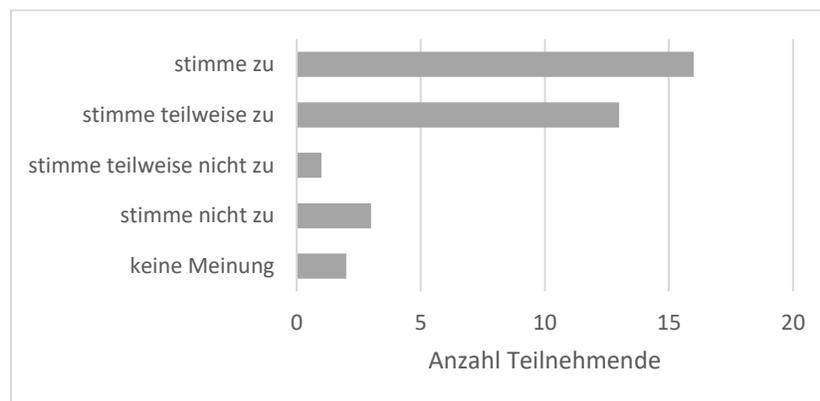


Abbildung 20: Zustimmung zur Aussage, dass eine hirntote Person tot ist.

Die Zustimmung zur Aussage, dass eine hirntote Person tot ist, korreliert nicht signifikant mit dem Vertrauen zu den Hirnkarten, welche ein vollständig inaktives Hirn zeigen, $r_s=0.200$, $p=0.264$, $n=33$. Demnach haben Personen, welche den Darstellungen mit Hirnkarten, welche ein hirntotes Stadium zeigen, weniger vertrauen nicht signifikant weniger der vorgenannten Aussage zugestimmt. Personen, welche keine Meinung zur Aussage hatten, wurden bei der Spearman Korrelation nicht miteinbezogen.

Die Zustimmung zur Aussage, dass eine hirntote Person tot ist, korreliert jedoch signifikant mit dem Vertrauen aller Visualisierungen in Aufgabe 1, $r_s=0.421$, $p=0.015$, $n=33$. Es handelt sich dabei um einen mittelstarken Effekt gemäss Cohen (1988). Die Beziehung der beiden Variablen ist gleichsinnig. Das heisst, höhere Zustimmung zur Aussage geht einher mit höherem Vertrauen in die Visualisierungen der Aufgabe 1.

Die Testpersonen der Gruppe «Experten» ($M=3.470$, $SE=0.215$) haben der Aussage durchschnittlich mehr zugestimmt als jene der Gruppe «Laien» ($M=3.110$, $SE=0.227$). Die Unterschiede wurden jedoch mittels Mann-Whitney-U-Test als nicht signifikant eingestuft, $U=103.500$, $p>0.05$.

5.3 Aufgabe 1

In der Aufgabe 1 wurde eine Likert-Skala als Antwortmöglichkeit gegeben. Dementsprechend konnten die Testpersonen ihre Zustimmung zwischen «Ich stimme zu» und «Ich stimme nicht zu» in 8 Stufen angeben.

«Ich stimme zu» wurde als «8» gewertet und «Ich stimme nicht zu» wurde als «1» gewertet. Die Daten wurden nach Farbskala aggregiert. Bei Aufgabe 1 wurde zum einen die Bewertung (siehe folgendes Kapitel 5.3.1) analysiert, welche durch die Mittelwerte der Farbskalen beschrieben wird. Zum anderen wurde der Mittelwert der absoluten Abweichung zum Mittelwert aller Testpersonen je Testperson ermittelt und wird im Folgenden als Variabilität bezeichnet. In Aufgabe 1 wurde auf die Analyse der Korrektheit der Antwort verzichtet, da in dieser Aufgabe das Mass an Vertrauen in die Visualisierung gemessen wird. Ein richtig oder falsch gibt es daher nicht. Zusätzlich war das Ziel von Aufgabe 1, den Testpersonen das Kennenlernen der Bilder resp. der beiden Extremstadien der Hirnaktivität zu ermöglichen und sie so für die Beurteilungen in Aufgabe 2 vorzubereiten. Alle resultierenden Mittelwerte der Analyse befinden sich im Anhang beschrieben durch den Mittelwert und den Standardfehler.

5.3.1 Bewertung

Farbskala S (M=6.414, SE=0.302) wurde im Vergleich zu B (M=5.257, SE=0.283), RG (M=5.714, SE=0.307) und BWR (M=6.014, SE=0.343) am meisten Vertrauen geschenkt. Dies ist in der folgenden Abbildung 21 ersichtlich. Eine Anova mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Antworten je Farbskala, $F(3,102)=4.273$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.112$. Mittels paarweisem Vergleich und einer Bonferroni Anpassung wurden signifikante Unterschiede zwischen B und S ($p=0.021$) sowie B und BWR ($p=0.028$) gefunden.

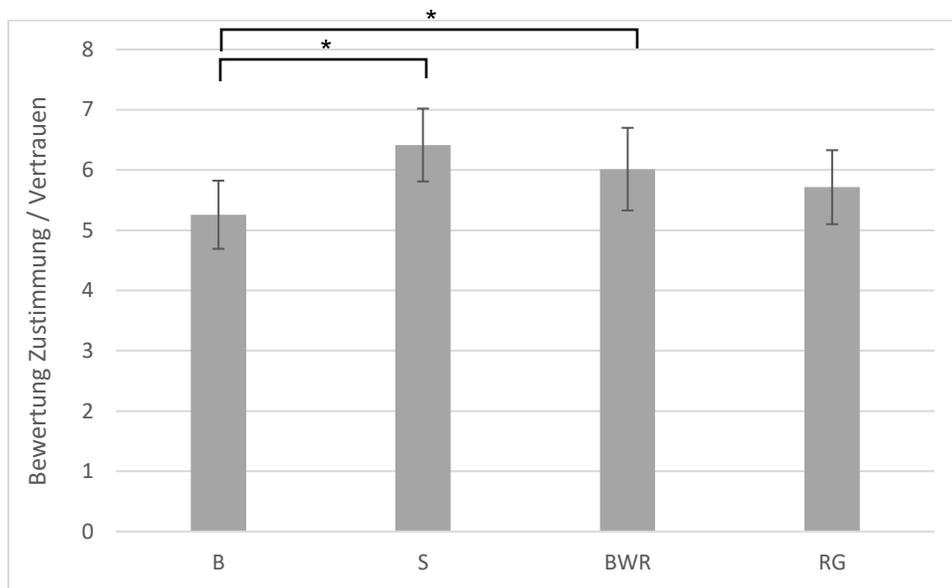


Abbildung 21: Bewertung der Testpersonen je Farbskala für Aufgabe 1 (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Es wurde kein signifikanter Effekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.242$, $p>0.05$. Auch eine signifikante Interaktion zwischen Erfahrung und Farbskala konnte nicht bestätigt werden, $F(3,99)=0.511$, $p>0.05$.

5.3.2 Variabilität

Die Abbildung 22 zeigt das Mass der Variabilität je Farbskala der Aufgabe 1 auf. Es zeigt sich, dass die Variabilität der Antwort der Testpersonen bei den Fragen mit der Farbskala S (M=1.50, SE=0.20) geringer ist als bei B (M=1.94, SE=0.14), BWR (M=1.99, SE=0.18) und RG (M=1.99, SE=0.14). Mit einer Friedman's Anova wurden signifikante Unterschiede festgestellt, $\chi^2(3)= 13.766, p<0.01$. Ein paarweiser Vergleich mittels Wilcoxon Rang-Summentest und Bonferroni Anpassung ergab signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten von S und B ($z=-2.752, p<0.05, r=-0.329$), S und BWR ($z=-2.655, p<0.05, r=-0.317$), sowie S und RG ($z=-2.821, p<0.05, r=-0.337$).

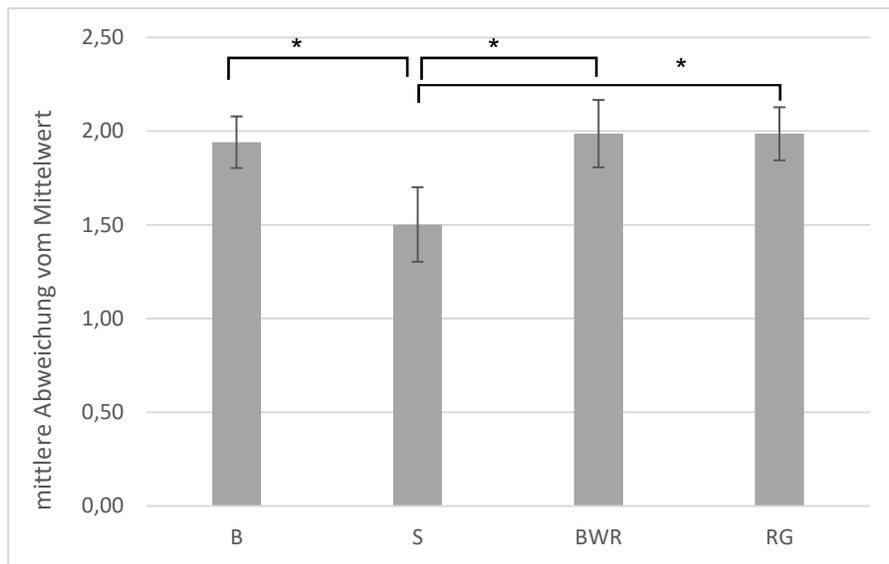


Abbildung 22: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert je Farbskala; B: Blau, S: Spektral, BWR: Blau-Weiss-Rot, RG: Rot-Gelb, (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Die Variabilität der Gruppe «Laien» war bei allen Farbskalen höher als jene der Gruppe «Experten» ausser bei RG, dort war die Variabilität der Experten höher (siehe Tabelle 5.1). Durchschnittlich lag die Variabilität bei den Experten bei M=1.712 (SE=0.261) und bei den Laien etwas höher, M=1.960, SE= 0.208. Eine Mixed Anova stellte jedoch keinen signifikanten Effekt der Erfahrung fest, $F(1,33)=1.011, p>0.05$. Es gab keinen statistisch signifikanten Interaktionseffekt zwischen Erfahrung der Farbskala, $F(3, 99) = 0.797, p>0.05$.

Tabelle 5.1 Variabilität der Antworten der Aufgabe 2 je Farbskala und Gruppe.

Farbskala	Laien M	Laien SE	Experten M	Experten SE
B	2,103	0,185	1,726	0,199
S	1,647	0,274	1,309	0,289
BWR	2,151	0,235	1,769	0,277
RG	1,941	0,138	2,047	0,281

5.3.3 Effizienz

Die Antwortzeit wurde wiederum für die einzelnen Farbskalen aggregiert. Durchschnittlich benötigte eine Testperson 21.350 Sekunden (SE=1.452), um in Aufgabe 1 eine Frage zu beantworten. Die Antwortzeit war bei B (M=22.343, SE=1.172) und RG (M=22.243, SE=1.698) minim höher als bei S (M=20.714, SE=1.379) und BWR (M=20.100, SE=1.551). Eine Anova mit Messwiederholung ergab jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Antwortzeit $F(3,102)=0.771, p>0.05$. Um Aufgabe 1 zu lösen, haben die Testpersonen mithin nicht signifikant unterschiedlich viel Zeit je Farbskala in Anspruch genommen.

Die Experten beantworteten Fragen mit der Farbskala B und RG schneller als die Laien. Die Gruppe «Laien» war jedoch durchschnittlich schneller bei der Beantwortung der Fragen, welche die Farbskala S und BWR verwendeten. Jedoch sind diese Unterschiede nicht signifikant. Die Erfahrung hatte daher keinen signifikanten Effekt auf die Antwortzeit, $F(1,33)=0.083, p>0.05$ und es gab auch keine signifikante Interaktion zwischen Erfahrung und Farbskala, $F(3, 99)=0.843, p>0.05$.

5.3.4 Eye-Tracking

AOI Hirnkarte: mittlere Zeit pro Betrachtung

Die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte war bei allen Farbskalen sehr ähnlich. Am kürzesten war sie bei RG (M=0.572, SE=0.041), gefolgt von B (M=0.606, SE=0.045) und S (M=0.606, SE=0.052). Am längsten wurde durchschnittlich die Skala BWR (M=0.680, SE=0.064) betrachtet. Eine Friedman's Anova ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen der durchschnittlichen Betrachtungszeit der Hirnkarte und den Farbskalen, $\chi^2(3)= 3,666 p>0.05$.

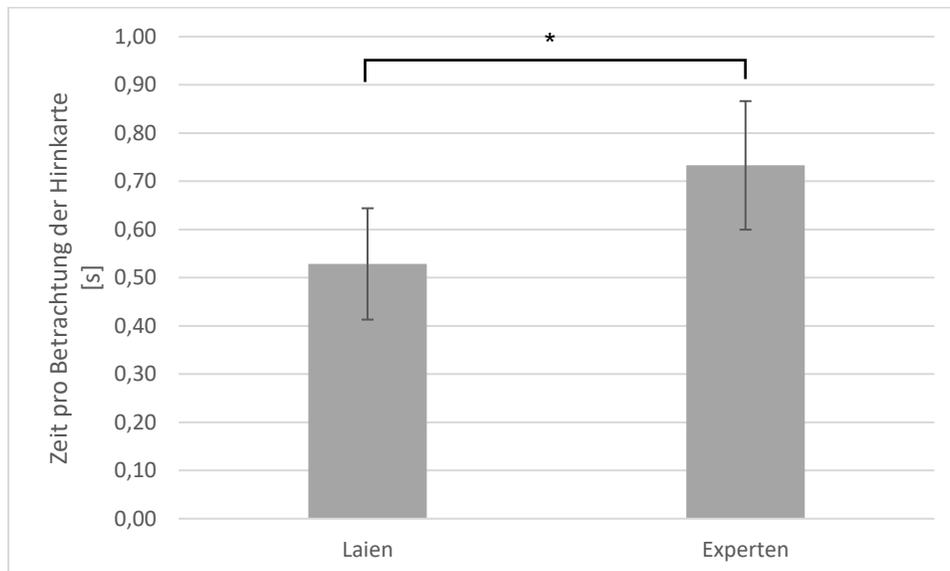


Abbildung 23: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Gruppe (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Werden allerdings die beiden Gruppen «Laien» und «Experten», ergibt sich ein interessantes Muster. Experten haben sich bei allen Farbskalen pro Hirnkarten-Betrachtung länger Zeit genommen (siehe Abbildung 23). Die Mixed Anova bestätigte, dass ein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung besteht, $F(1,33) = 5.372$, $p < 0.05$, partielles $\eta^2 = 0.140$. Es zeigte sich, dass diese Unterschiede unabhängig von der Farbskala bestehen, d.h. es gibt keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala auf die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung, $F(2.202, 72.676) = 0.440$, $p > 0.05$.

AOI Hirnkarte: Anteil an der Gesamtbetrachtungszeit

Der Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte zur gesamten Visualisierung war bei RG ($M=0.238$, $SE=0.018$) tiefer als bei S ($M=0.247$, $SE=0.017$), B ($M=0.252$, $SE=0.020$), und BWR ($M=0.278$, $SE=0.018$). Eine Friedman's Anova zeigte jedoch, dass diese Unterschiede nicht signifikant sind, $\chi^2(3) = 7.766$, $p > 0.05$.

Bei der Betrachtung der Daten nach Gruppen zeigt sich ein ähnliches Muster wie bereits bei der durchschnittlichen Betrachtungszeit. Bei den Experten war der Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte bei jeder Farbskala höher als bei den Laien und entsprach gemäss Abbildung 24 knapp 30% der Gesamtzeit. Dementsprechend haben Experten anteilmässig mehr Zeit bei der Betrachtung der Hirnkarten aufgewendet als Laien bei Aufgabe 1. Die Mixed Anova bestätigte einen Haupteffekt der Erfahrung, $F(1, 33) = 6.339$, $p < 0.05$, partielles $\eta^2 = 0.161$. Es wurde aber kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala festgestellt, $F(2.833, 93.476) = 0.703$, $p > 0.05$.

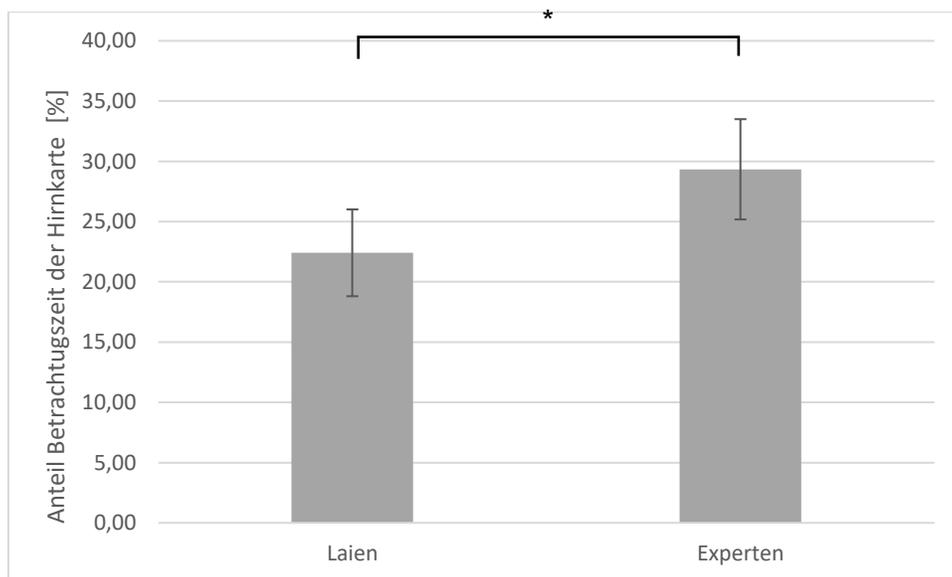


Abbildung 24: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der Gesamtbetrachtungszeit je Gruppen (Mittelwert in %, ± 2 Standardfehler).

AOI Hirnkarte: Anzahl Betrachtungen

Die Hirnkarte wurde von den Testpersonen bei der Farbskala B (M=8.900, SE=0.617) und RG (M=8.714, SE=0.679) minim mehr konsultiert als bei S (M=8.357, SE=0.618) und BWR (M=8.171, SE=0.570). Eine Friedman's Anova ergab jedoch, dass diese Unterschiede nicht signifikant sind, $\chi^2(3)=3.306$ $p>0.05$.

Ein signifikanter Effekt der Erfahrung konnte mittels Mixed Anova nicht bestätigt werden, $F(1,33)=0.072$, $p>0.05$ und auch kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala, $F(3,99)=0.712$, $p>0.05$.

AOI Legende: mittlere Zeit pro Betrachtung

Die mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende war bei BWR (M=0.541, SE=0.025) und S (M=0.535, SE=0.024) höher als bei RG (M=0.510, SE=0.027) und B (M=0.484, SE=0.029). Eine Friedman's Anova lieferte einen signifikanten Unterschied, $\chi^2(3)=10.965$ $p<0.05$. Ein paarweiser Vergleich ergab einen signifikanten Unterschied zwischen B und BWR, $z=-3.240$, $p<0.05$, $r=-0.387$.

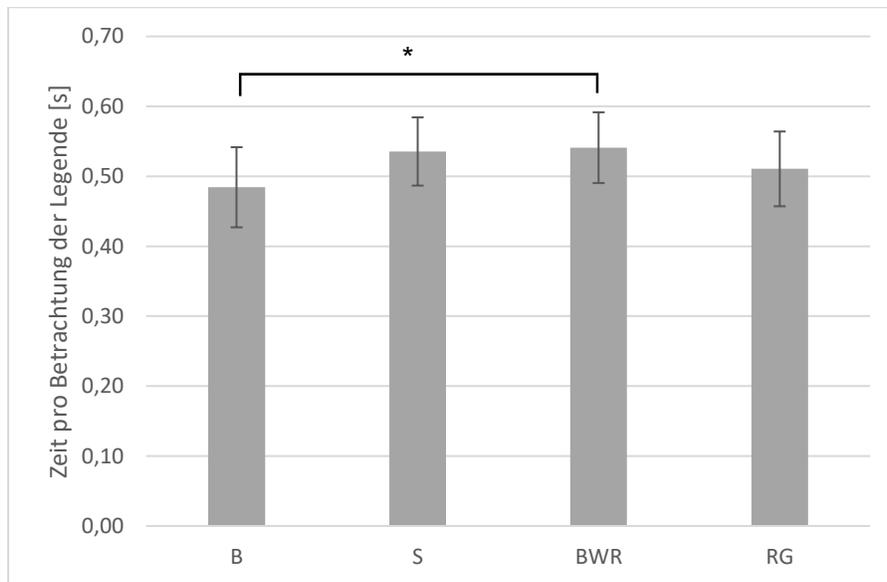


Abbildung 25: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Mixed Anova ergab keine signifikante Interaktion zwischen Erfahrung und Farbskala, $F(3,99)=2.696$, $p=0.05$). Da $p=0.05$ wurden zusätzlich einfache Kontraste zur Überprüfung gewählt. Die Kontraste ergaben eine signifikante Interaktion zwischen den Gruppen und der Farbskala bei S und RG, $F(1,33)=6.683$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.168$, sowie S und BWR, $F(1,33)=6.609$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.167$. Experten haben bei S signifikant weniger Zeit für eine Betrachtung der Legende verwendet als Laien bei Farbskala S im Vergleich zu RG (Mittelwerte und Standardfehler siehe Tabelle 5.2): Demnach betrachteten Laien die Legende signifikant kürzer bei BWR und RG als Experten im Vergleich zu S. Ein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung konnte nicht gefunden werden, $F(1,33)=1.733$, $p>0.05$.

Tabelle 5.2: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende der Laien und Experten in Aufgabe 1 (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Farbskala	Laien M	Laien SE	Experten M	Experten SE
B	0,470	0,036	0,504	0,048
S	0,559	0,029	0,504	0,042
BWR	0,499	0,032	0,597	0,038
RG	0,466	0,031	0,570	0,044

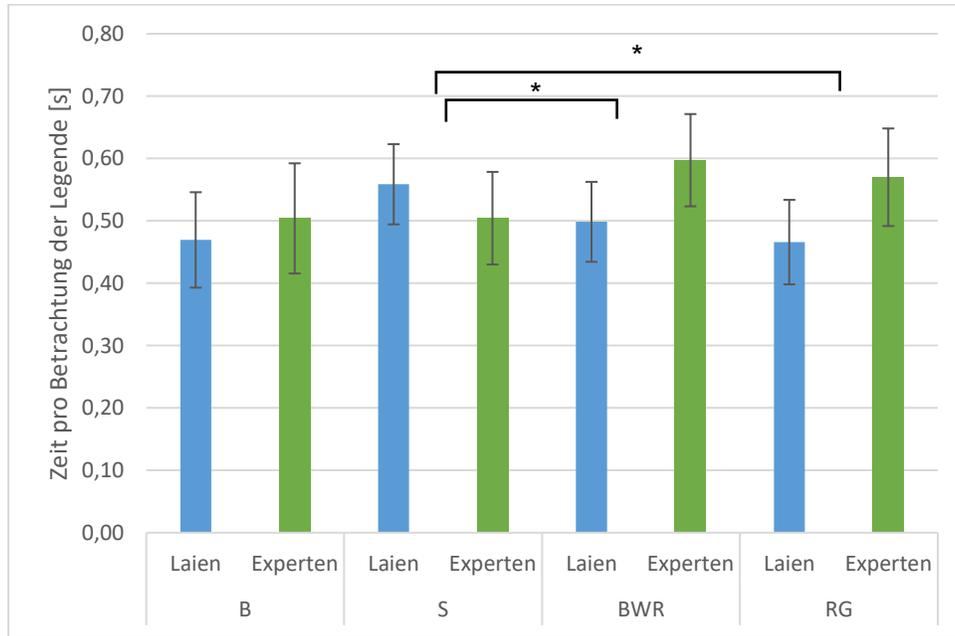


Abbildung 26: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala und Gruppe in s (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Legende: Anteil an der Gesamtbetrachtungszeit

Der Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der Gesamtbetrachtungszeit der Visualisierung war bei den Testpersonen bei B (M=0.097, SE=0.011) im Vergleich zu S (M=0.115, SE=0.008), BWR (M=0.113, SE=0.010) und RG (M=0.110, SE=0.010) am kleinsten. Die Anova mit Messwiederholung ergab jedoch keine signifikanten Unterschiede, $F(3,102)=0.861, p>0.05$.

Eine signifikante Interaktion zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3,99)=3.126, p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.087$ konnte festgestellt werden. Kontraste ergaben einen Aufschluss darüber, wo sich die signifikanten Unterschiede befinden. Der Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung war bei den Experten bei RG signifikant höher im Vergleich zu den Laien und den Farbskalen B und S (Testergebnisse der Kontraste: B und RG, $F(1,33)=6.698$, partielles $\eta^2 = 0.169, p<0.05$ sowie S und RG, $F(1,33)=11.495, p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.258$).

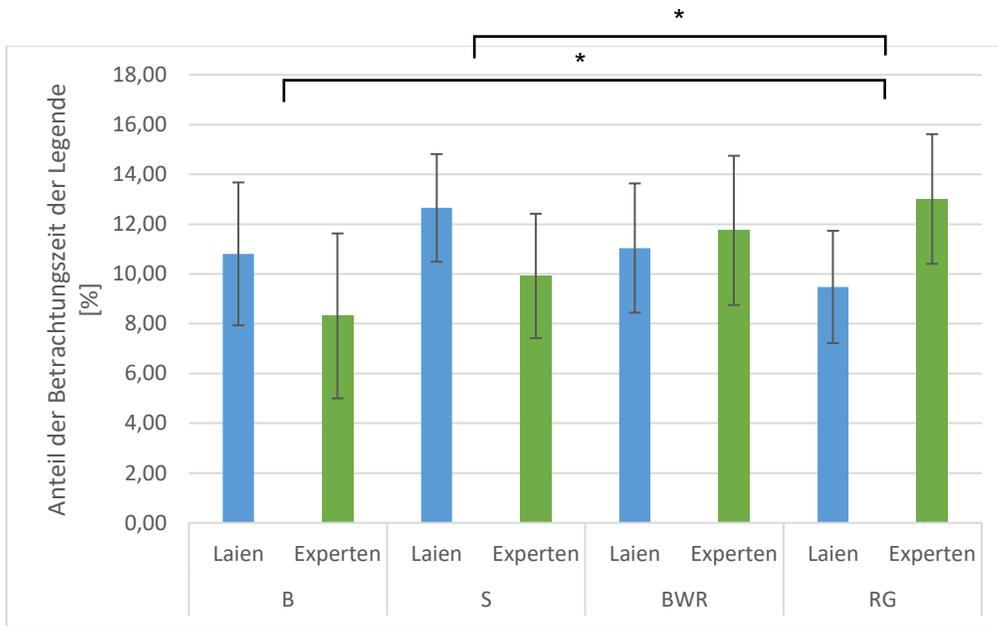


Abbildung 27: Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der Gesamtbetrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala und Gruppe in % (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Legende: Anzahl Betrachtungen

Die Anzahl Betrachtungen der Legende war bei der Farbskala RG am höchsten und betrug $M=4.957$ ($SE=0.638$). Bei B waren es $M=4.243$ ($SE=0.361$), bei S $M=4.357$ ($SE=0.360$) und bei BWR $M=4.071$ ($SE=0.331$). Bei BWR wurde demnach die Legende am wenigsten häufig betrachtet. Die Friedman's Anova Testergebnisse zeigten aber keinen signifikanten Unterschied, $\chi^2(3)= 0.320$ $p>0.05$.

Bei der Betrachtung der Daten pro Gruppe fällt auf, dass Experten über alle Farbskalen hinweg weniger oft die Legende konsultierten. Dieser Unterschied wurde jedoch nicht als signifikant befunden. Eine Mixed Anova ergab keine signifikante Interaktion zwischen der Erfahrung und den Farbskalen, $F(2.203,72.694)=0.180$, $p>0.05$. Auch wurde der Haupteffekt der Erfahrung als nicht signifikant eingestuft, $F(1,33)=0.46$, $p>0.05$.

5.4 Aufgabe 2

In der Aufgabe 2 konnten die Testpersonen bei den jeweiligen Darstellungen angeben, wie sie die das Aktivitätsstadium einstufen. Es wurde ihnen zwischen totes Gehirn und normales Gehirn 5 Stufen zur Auswahl gegeben. 1 wurde als «hirntot» eingestuft und 5 als «normal». Wie bereits in Aufgabe 1 wurde auch in Aufgabe 2 der Mittelwert der absoluten Abweichung zum Mittelwert aller Testpersonen je Testperson ermittelt und wird im Folgenden als Variabilität bezeichnet. Zusätzlich wurde in Aufgabe 2 die Korrektheit der Antworten ausgewertet. Dazu wurde das in Kapitel 4.5.2 Bewertungsraster verwendet. Die Testpersonen

konnten maximal 3 Punkte pro Frage erreichen. Zudem wurde die Effizienz der Testpersonen mit der Antwortzeit der Fragen analysiert. Die resultierenden Daten wurden auf die Farbskalen aggregiert und sind im Anhang abrufbar (jeweils mit dem Mittelwert und dem Standardfehler beschrieben).

5.4.1 Variabilität

Die Variabilität in den Antworten wurde pro Farbskala aggregiert. In der Abbildung 28 ist ersichtlich, dass die Variabilität bei Fragen der Farbskala S ($M=0.413$, $SE=0.037$) am geringsten war und bei Fragen der Farbskala B ($M=0.553$, $SE=0.056$) am grössten war. Bei BWR lag der Mittelwert bei $M=0.499$, $SE=0.063$ und bei RG bei $M=0.506$, $SE=0.041$. Eine Friedman's Anova ergab signifikante Unterschiede der mittleren Variabilität der Farbskalen in Aufgabe 2, $\chi^2(3)=10,754$, $p<0.05$. Mittels paarweisem Vergleich durch Wilcoxon Tests und einen Bonferroni Anpassung der Signifikanz konnte ein signifikanter Unterschied zwischen B-S gefunden werden, $z=3,194$, $p<0.05$, $r=0.382$. Dementsprechend ist die Variabilität der Antworten bei S signifikant tiefer als bei B.

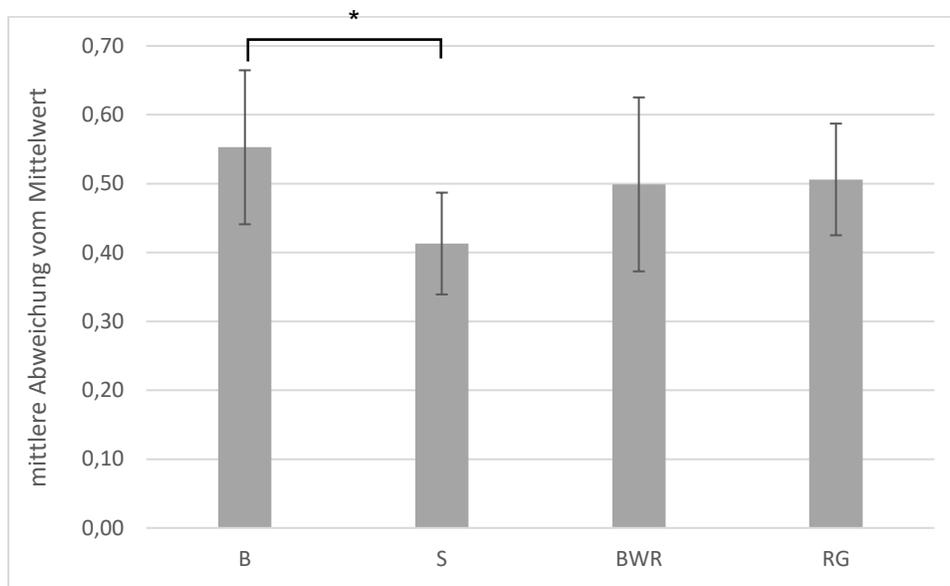


Abbildung 28: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert der Antwort je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Die Variabilität fiel bei den Experten geringer aus ($M=0.436$, $SE=0.045$) als bei den Laien ($M=0.536$, $SE=0.076$). Mittels Mixed Anova wurde Aufgabe 2 auf die Abhängigkeit der Erfahrung getestet. Es wurde kein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung festgestellt, $F(1,33)=1.480$, $p>0.05$ und auch keine signifikante Interaktion zwischen der Erfahrung und den Farbskalen, $F(3,99)=1.514$, $p>0.05$.

5.4.2 Effektivität

Es konnten insgesamt 3 Punkte pro Frage erreicht werden. Der Unterschied in der mittleren Anzahl erreichten Punkten ist zwischen den Farbskalen minim. Bei S wurden durchschnittlich 2.629 Punkte ($SE=0.045$) erreicht; bei B 2.463 Punkte ($SE=0.071$); bei BWR 2.543 Punkte ($SE=0.062$) und bei RG 2.560 Punkte

(SE=0.043). Bei S wurde daher durchschnittlich am effektivsten geantwortet. Gemäss Friedman's Anova sind die Unterschiede aber nicht signifikant, $\chi^2(3)=4,612$ $p>0.05$.

Die Unterschiede zwischen der Gruppe «Laien» und «Experten» sind auch nur minim. Experten haben durchschnittlich 2.590 Punkte (SE=0.058) erreicht und die Laien 2.518 Punkte (SE=0.085). Mittels Mixed Anova wurde getestet, ob die Erfahrung der Testpersonen einen Einfluss auf die Korrektheit der Antworten hat. Dies konnte nicht bestätigt werden. Es wurde kein Haupteffekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.697$, $p>0.05$ und auch ein Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala konnte nicht nachgewiesen werden, $F(3,99)=1.443$, $p>0.05$.

5.4.3 Effizienz

Die Antwortzeit ist bei Fragen mit Farbskala S (M=17.040, SE=1.145) und BWR (M=16.909, SE=0.0824) ein wenig kleiner als bei B (M=17.829, SE=1.294) und RG (M=17.851, SE=0.949). Eine Friedman's Anova ergab keine signifikanten Unterschiede in der Zeit bis zur Antwort zwischen den Farbskalen, $\chi^2(3)=2,827$, $p>0.05$.

Auch bei der Betrachtung der zwei Gruppen konnten nur geringe Unterschiede gefunden werden. Experten benötigten durchschnittlich 17.570 s (SE=1.745) und Laien 17.285 s (SE=1.131). Eine Mixed Anova bestätigt, dass sowohl kein Haupteffekt der Erfahrung vorliegt, $F(1,33)=2.785$, $p>0.05$ wie auch keine signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und der Farbskalen, $F(3,99)=0.228$, $p>0.05$.

5.4.4 Eye-Tracking

AOI Hirnkarte: mittlere Zeit pro Betrachtung

Die mittlere Zeit pro Betrachtung bei der Hirnkarte war bei der Farbskala RG ein weniger tiefer als bei B, S und BWR und lag bei 0.57 Sekunden (siehe folgende Abbildung 29). Eine Anova mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Unterschied der Betrachtungszeit zwischen den Farbskalen, $F(3,102)=3.213$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.086$. Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied ($p < 0.05$) zwischen S und RG. Ein einfacher Kontrast Test bestätigt diesen signifikanten Unterschied zwischen S und RG, $F(1,34)=8.649$, $p<0.05$ partielles $\eta^2 = 0.203$, und zeigte zudem einen signifikanten Unterschied zwischen BWR und RG auf, $F(1,34)=7.346$, $p<0.05$ partielles $\eta^2 = 0.176$.

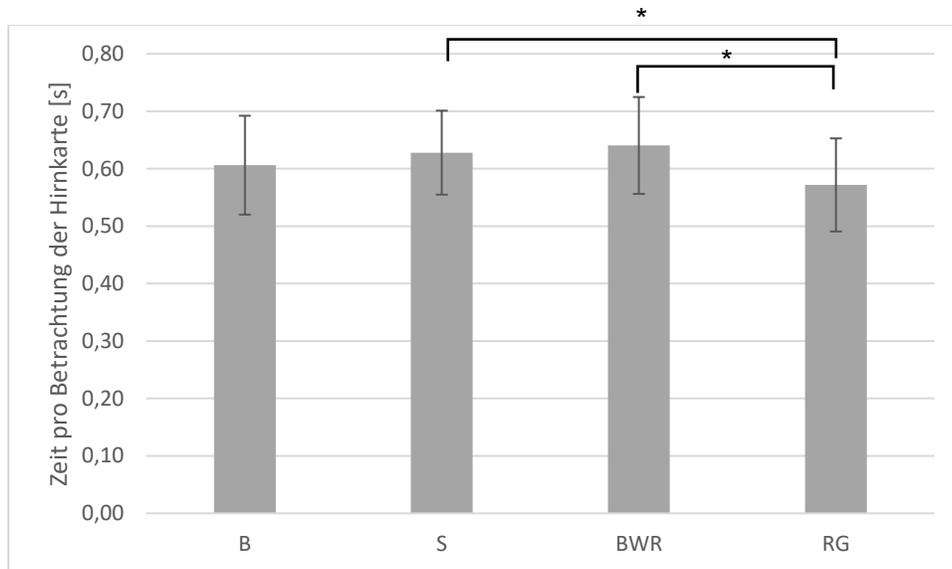


Abbildung 29: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Farbskala in Sekunden (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Analysieren wir die mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Gruppe, fällt auf, dass sich die Experten pro Betrachtung mehr Zeit genommen haben als die Laien (siehe Abbildung 30). Eine Mixed Anova bestätigte einen signifikanten Effekt der Erfahrung, $F(1,33)=4.597$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.122$. Experten haben sich dementsprechend unabhängig von der Farbskala pro Hirnkarten-Betrachtung länger Zeit genommen. Ein Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala konnte nicht gefunden, $F(3, 99)=0.586$, $p>0.05$.

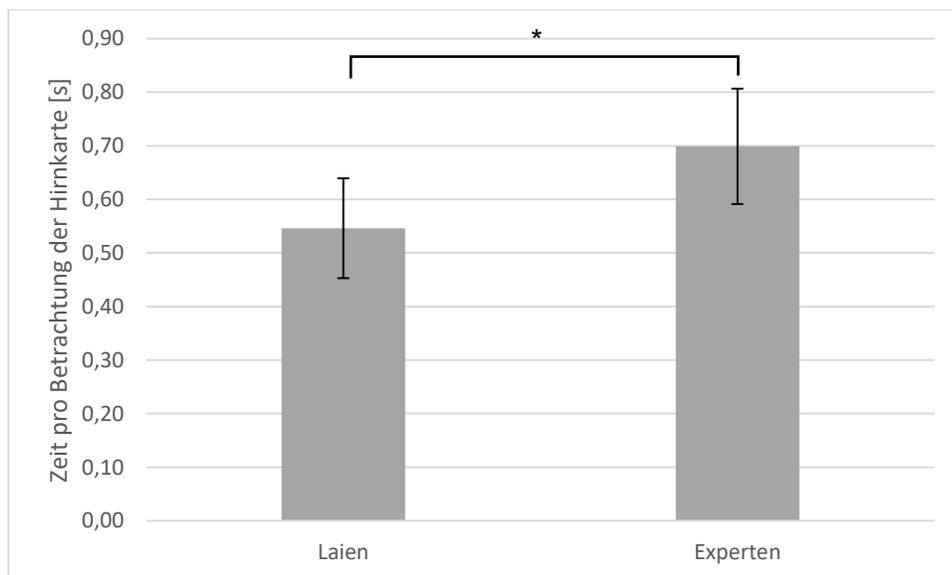


Abbildung 30: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Gruppe in Sekunden (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Hirnkarte: Anteil an der Gesamtbetrachtungszeit

Eine Analyse der von den Teilnehmenden verwendeten Zeit für die Betrachtung der Hirnkarte im Verhältnis zur Gesamtbetrachtungszeit ergibt, dass bei den Farbskalen S ($M=0.294$, $SE=0.022$) und BWR ($M=0.290$, $SE=0.019$) verhältnismässig mehr Zeit auf die Hirnkarte entfiel als bei B ($M=0.267$, $SE=0.022$) und RG ($M=0.255$, $SE=0.021$) (siehe Abbildung 31). Eine Anova mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Farbskalen, $F(3,102)=3.867$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.102$. Der paarweise Vergleich mit einer Bonferroni Anpassung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen S und RG ($p<0.05$). Ein einfacher Kontrast bestätigt diesen signifikanten Unterschied zwischen S und RG, $F(1,34)=10.696$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.239$ und zeigt zudem einen signifikanten Unterschied zwischen BWR und RG auf, $F(1,34)=5.442$, $p<0.05$ partielles $\eta^2 = 0.138$.

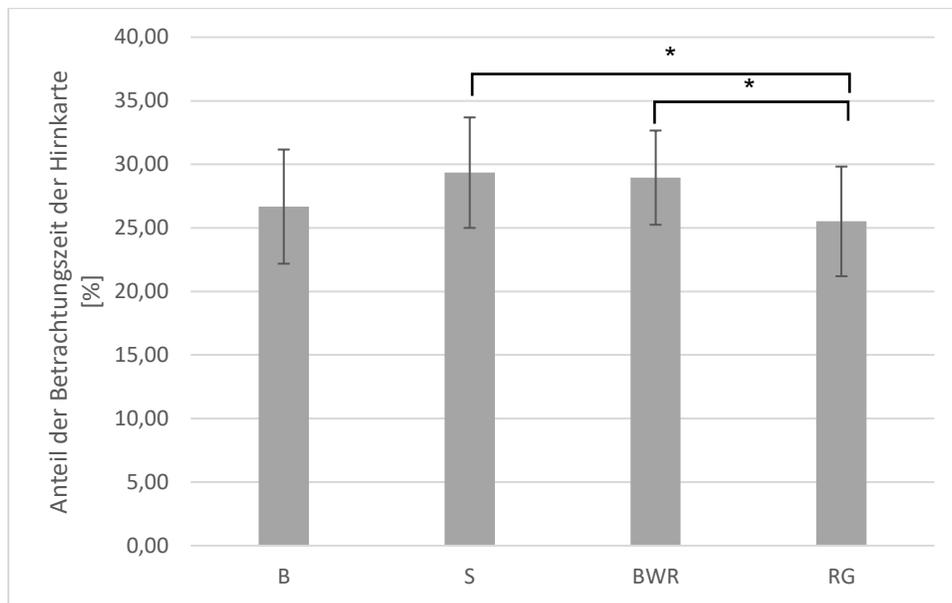


Abbildung 31: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Es ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3, 99)=1.770$, $p>0.05$. Es wurde jedoch ein signifikanter Haupteffekt der Gruppe gefunden, $F(1,33)=4.294$, $p<0.05$ partielles $\eta^2 = 0.115$. Das heisst, Experten haben signifikant mehr Zeit für die Betrachtung der Hirnkarte verwendet als Laien.

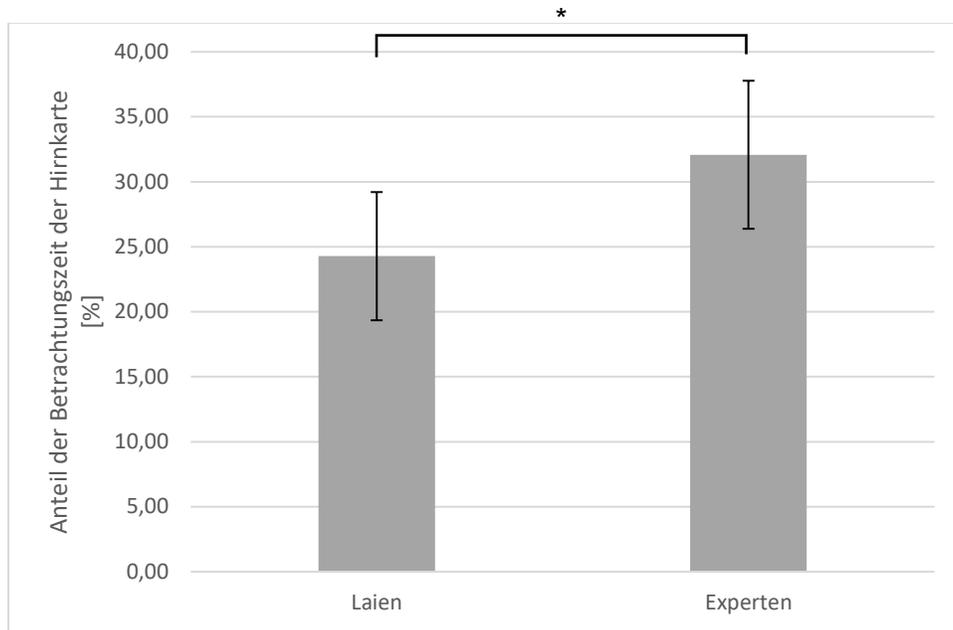


Abbildung 32: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala und Gruppe. (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Hirnkarte: Anzahl Betrachtungen

Die durchschnittliche Anzahl Betrachtungen der Hirnkarte war bei allen Farbskalen ähnlich (B: $M=7.394$, $SE=0.528$, S: $M=7.389$, $SE=0.434$, BWR: $M=7.451$, $SE=0.367$, RG: $M=7.486$, $SE=0.498$). Eine Friedman's Anova bestätigte, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Farbskalen besteht, $\chi^2(3)=3.835$, $p>0.05$. Eine Mixed Anova ergab auch keinen signifikanten Haupteffekt der Erfahrung, $F(1,33)=0.700$, $p>0.05$ und keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(2,077, 68.527)=1.771$, $p>0.05$.

AOI Legende: mittlere Zeit pro Betrachtung

Die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Legende war bei BWR ($M=0.395$, $SE=0.018$) und B ($M=0.43$, kleiner als bei S und RG ($M=0.454$, $SE=0.022$)). Dies ist in der folgenden Abbildung 33 ersichtlich.

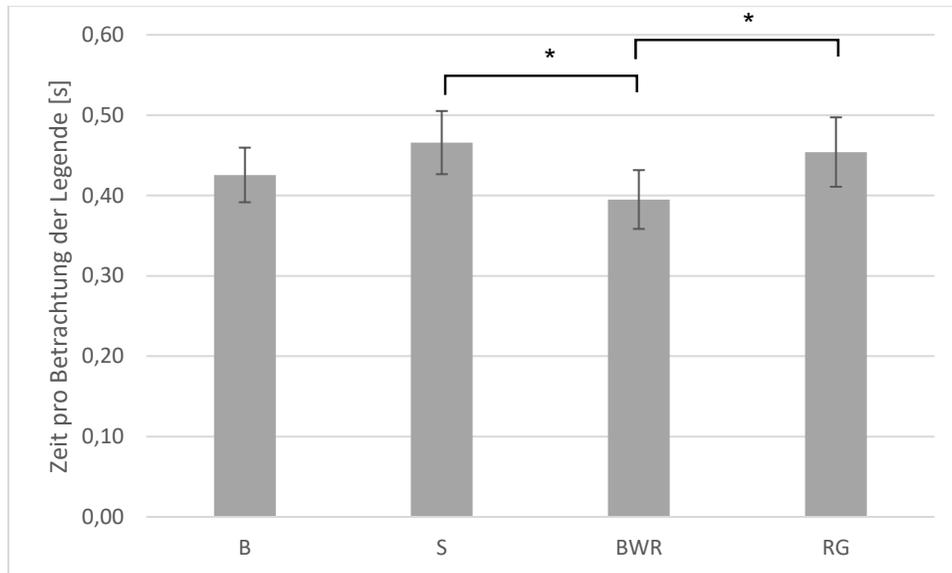


Abbildung 33: Mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Friedman's Anova bestätigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Farbskalen, $\chi^2(3)=15.378$, $p<0.05$. Der paarweise Vergleich mit einer Bonferroni Anpassung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen BWR und RG, $z=-2.731$, $p<0.05$, $r=-0.326$ und BWR und S, $z=3.796$, $p<0.05$, $r=0.454$. Es wurde kein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.138$, $p>0.05$ und auch keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3, 99)=0.514$, $p>0.05$.

AOI Legende: Anteil an der Gesamtbetrachtungszeit

Der Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der Gesamtbetrachtungszeit bei Aufgabe 2 war bei BWR (M=0.077, SE=0.006) im Vergleich zu B (M=0.086, SE=0.007), S (M=0.091, SE=0.009) und RG (M=0.091, SE=0.009) niedriger. Eine Friedman's Anova ergab einen signifikanten Unterschied in der Zeit zwischen den Farbskalen, $\chi^2(3)=9,240$, $p<0.05$. Der paarweise Vergleich ergab einen signifikanten Unterschied zwischen BWR und S, $z=2.777$, $p<0.05$, $r=0.332$.

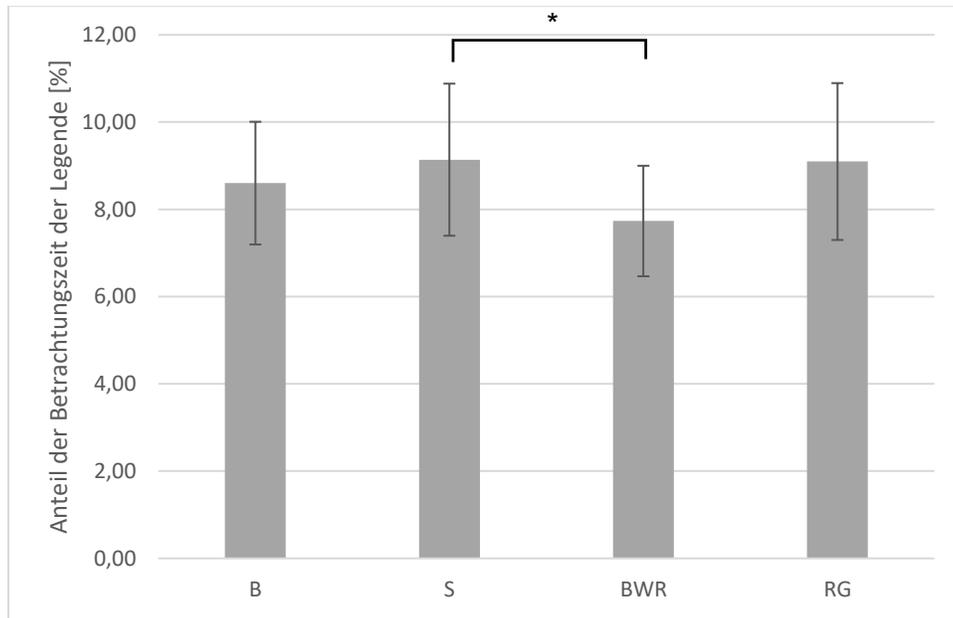


Abbildung 34: Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der totalen Betrachtungszeit der Visualisierung je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Es wurde jedoch kein signifikanter Effekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.044$, $p>0.05$. Auch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala konnte ausgeschlossen werden, $F(3,99)=0.539$, $p>0.05$.

AOI Legende: Anzahl Betrachtungen

Die durchschnittliche Anzahl Betrachtungen der Legende in Aufgabe 2 je Farbskala variierte nur geringfügig und die Differenz lag unterhalb einer Betrachtung (B: $M=3.269$, $SE=0.326$; S: $M=3.251$, $SE=0.300$; BWR: $M=3.183$, $SE=0.269$; RG: $M=3.440$, $SE=0.269$). Die Friedman's Anova bestätigte keine signifikanten Unterschiede, $\chi^2(3)=3.456$, $p>0.05$. Es wurde auch kein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.072$, $p>0.05$ sowie kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala, $F(2.129, 70.247)=1.732$, $p>0.05$.

5.4.5 Gaze-Plots

Die folgende Abbildung 35 zeigt die Gazeplots der verschiedenen Farbskalen der Hirnkarten mit normalem Stadium aus Aufgabe 2. Diese zeigen die relative Betrachtungszeit aller ausgewerteten Testpersonen. Es ist klar ersichtlich, dass die Legende bei Farbskala B und RG über die ganze Spannbreite konsultiert wurden, bei Farbskala BWR und vor allem bei Farbskala S nur der obere Teil der Legende. Bei der Hirnkarte ist ein ähnliches Muster erkennbar. Bei B und RG wird vor allem der Bereich in der Mitte der Hirnkarte betrachtet. Bei S und BWR werden auch andere Bereiche wie der äussere Rand betrachtet.

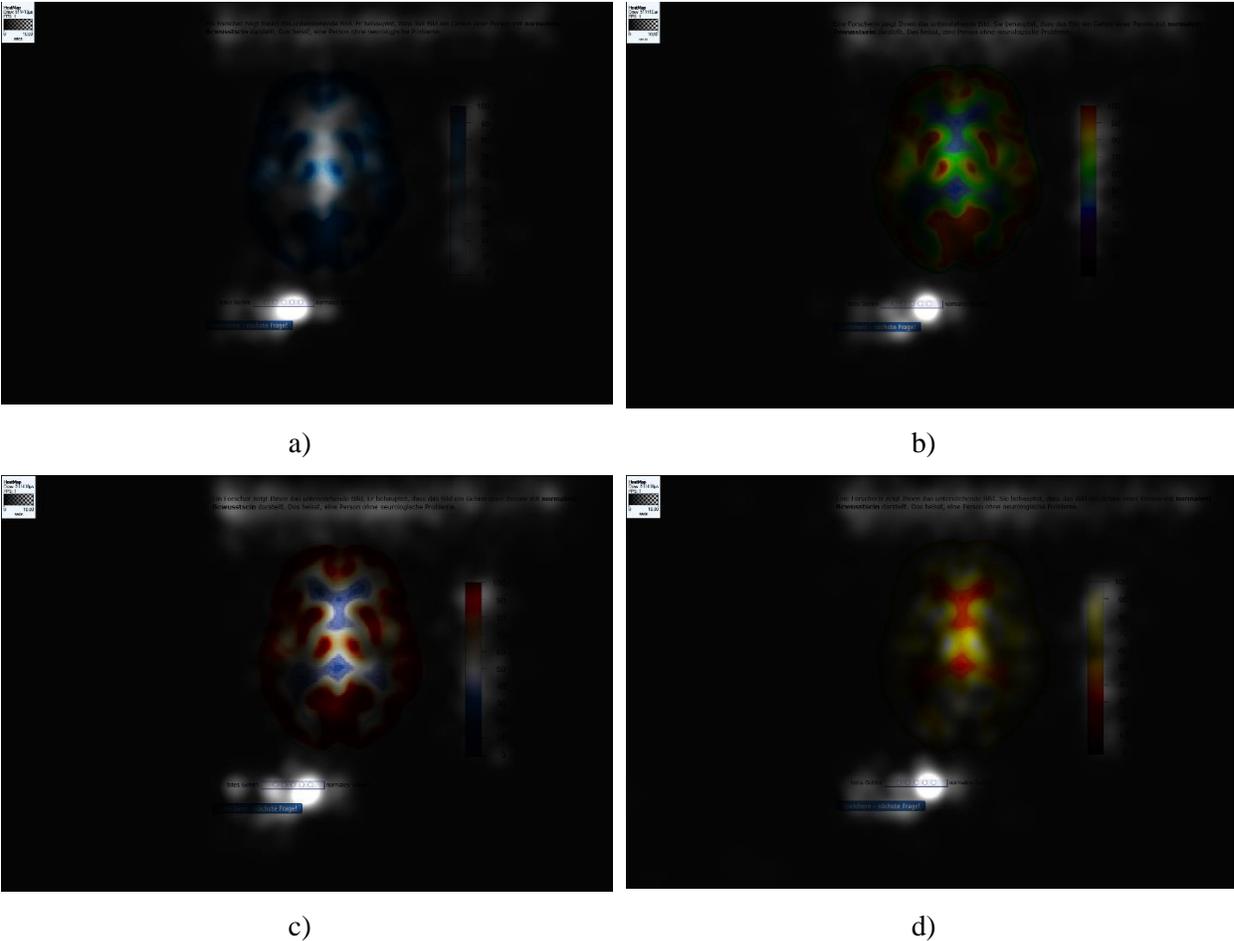


Abbildung 35: Gazeplots der Hirnkarten mit normalem Stadium aus Aufgabe 2. a) sequentielle Farbskala B, b) spektrale Farbskala S, c) divergierende Farbskala BWR, d) Schwarzkörperstrahlung Farbskala RG.

5.5 Aufgabe 3

In der Aufgabe 3 wurden die Testpersonen gebeten, die Werte in den gekennzeichneten Bereichen zu bestimmen und in einem Drop-Down Menü zwischen 0 und 100 Aktivität bzw. Glukoseverbrauch anzugeben. Für diese Aufgabe wurde wiederum die Variabilität, Effektivität, Effizienz sowie die Augenbewegung ausgewertet. Alle resultierenden Mittelwerte der Analyse befinden sich im Anhang beschrieben durch den Mittelwert und den Standardfehler.

5.5.1 Variabilität

Bei Aufgabe 3 war die mittlere Variabilität bei BWR ($M=1.660$, $SE=0.205$) am geringsten. Bei S betrug die Variabilität $M=2.805$ ($SE=0.220$). Bei B ($M=5.415$, $SE=0.327$) und RG ($M=5.325$, $SE=0.416$) wurde ähnlich variabel geantwortet.

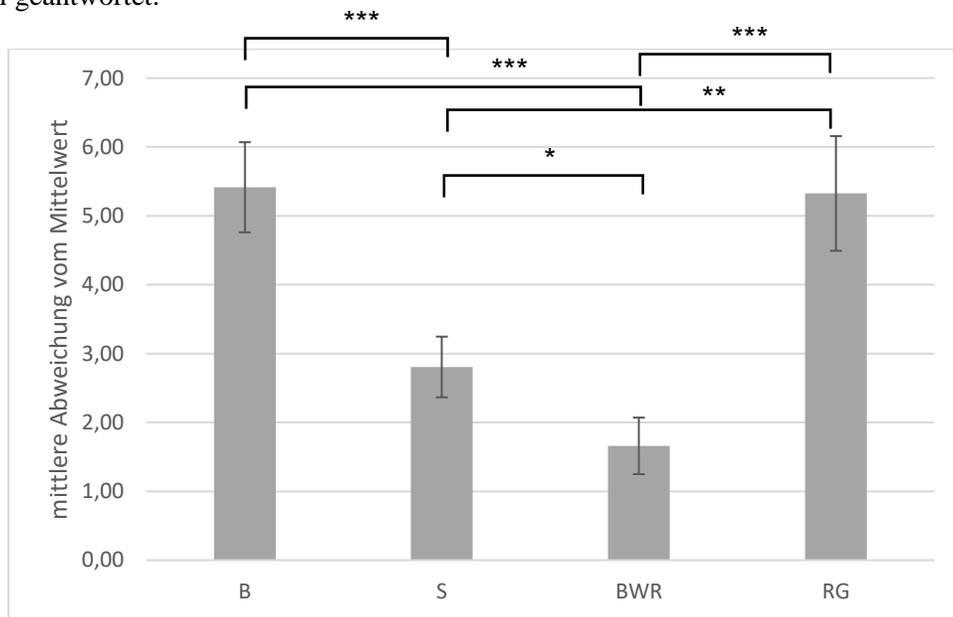


Abbildung 36: Mittlere absolute Abweichung vom Mittelwert der Antworten der Aufgabe 3 je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Friedman's Anova zeigte einen signifikante Unterschied der Variabilität, $\chi^2(3)=73,046$, $p<0.05$. Mittels paarweisem Vergleich und einer Bonferroni Anpassung konnte ein signifikanter Unterschied zwischen B-S ($z=4.490$, $p<0.001$, $r=0.537$), B-BWR ($z=7.499$, $p<0.001$, $r=0.890$), S-BWR ($z=3.009$, $p<0.05$, $r=0.360$), S-RG ($z=-3.703$, $p<0.01$, $r=-0.443$) und BWR-RG ($z=-6.712$, $p<0.001$, $r=-0.802$) gefunden werden.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen erweisen sich bei der Variabilität als geringfügig (Laien: $M=3.765$, $SE=0.336$, Experten: $M=3,849$, $SE=0.527$) und nicht signifikant. Dies bestätigt auch eine Mixed Anova, welche kein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung gefunden hat, $F(1,33)=0.043$, $p>0.05$. Weiter gab es auch keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3,99)=0.478$, $p>0.05$.

Hintergrund

Die Unterschiede zwischen den Hintergründen Schwarz und Weiss und den Farbskalen erwiesen sich bei der Variabilität der Antwort als signifikant (siehe Abbildung 37). Dies resultiert aus einer mehr-faktoriellen Anova mit Messwiederholung, welche einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Farbskala und Hintergrund feststellte, $F(1,995,67.842)=5.979$, $p<0.05$ partielles $\eta^2=0.150$. Kontraste ergaben signifikante Unterschiede zwischen S und BWR $F(1,34)=71.639$, $p<0.001$ partielles $\eta^2=0.678$, S und RG, $F(1,34)=5.937$, $p<0.05$ partielles $\eta^2=0.149$, BWR und RG $F(1,34)=4.342$, $p<0.05$ partielles $\eta^2=0.113$ sowie BWR und B, $F(1,34)=5.550$, $p<0.05$ partielles $\eta^2=0.140$.

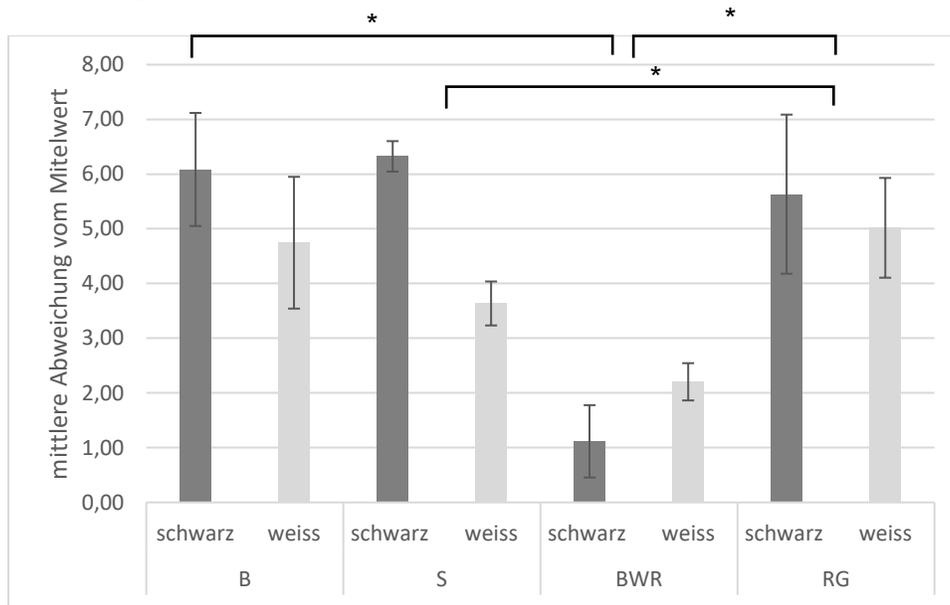


Abbildung 37: Variabilität der Antworten je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Gruppe, Farbskala und Hintergrund konnte nicht festgestellt werden, $F(2,004, 66.134)=0.713$, $p>0.05$. Es konnte auch kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Hintergrund gefunden werden, $F(1,33)=1.753$, $p>0.05$. Ein signifikanter Haupteffekt der Gruppe konnte ebenfalls ausgeschlossen werden, $F(1,33)=0.290$, $p>0.05$.

5.5.2 Effektivität

Bei Aufgabe 3 galt eine Frage als korrekt beantwortet, wenn die Testperson die drei zu bestimmenden Werte in der korrekten Reihenfolge angegeben hat. Die Testpersonen haben eine sehr hohe Erfolgsquote erreicht. Bei der Farbskala S haben alle Testpersonen alle Fragen (100%) richtig beantwortet. Bei B sind es 95.7%, bei BWR 97.1% und bei RG 95.7%. Eine Friedman's Anova zeigte, dass hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Farbskalen, $\chi^2(3)=3,273$, $p>0.05$ bestehen. Demensprechend wurde in Aufgabe 3 unabhängig von der jeweiligen Farbskala die Reihenfolge richtig angegeben.

Bei der Farbskala B und BWR haben die Laien besser abgeschnitten als die Experten. Bei S haben beide Gruppen alles richtig beantwortet und bei RG haben die Experten besser abgeschnitten. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind in der folgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 5.3: Effektivität der Antworten der Experten und Laien in Aufgabe 3.

Farbskala	Laien M	Laien SE	Experten M	Experten SE
3k_B	0,975	0,025	0,933	0,045
3k_S	1,000	0,000	1,000	0,000
3k_BWR	0,975	0,025	0,967	0,033
3k_RG	0,950	0,034	0,967	0,033

Eine Mixed Anova ergab keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3,99)=0.388$, $p>0.05$. Es wurde auch kein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.155$, $p>0.05$.

Hintergrund

Es konnte kein signifikanter Haupteffekt des Hintergrundes festgestellt werden, $F(1,34)=0.393$, $p>0.05$. Es wurde auch kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Hintergrund und Farbskala, $F(2.235, 75.983)=0.907$, $p>0.05$ sowie zwischen Erfahrung, Farbskala und Hintergrund gefunden, $F(2.148, 70.891)=1.551$, $p>0.05$. Es konnte jedoch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Hintergrund gefunden werden, $F(1,33)=4.354$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.117$. Demnach haben Experten signifikant mehr Fragen mit weissem Hintergrund richtig beantwortet als Laien unabhängig der Farbskala. Dieses Resultat ist jedoch mit Bedacht zu geniessen, da hier die Spherizität und die Homogenität der Varianzen verletzt wurde. Ein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung konnte ausgeschlossen werden, $F(1,33)=0.155$, $p>0.05$.

5.5.3 Effizienz

Die Aufgabe 3 wurde je nach Farbskala unterschiedlich schnell beantwortet. Die Abbildung 38 zeigt, dass Fragen mit BWR (M=28.214, SE=0.969) im Vergleich zu B (M=33.014, SE=1.470), S (M=31.671, SE=1.201) und RG (M=31.443, SE=1.150) am schnellsten beantwortet wurden.

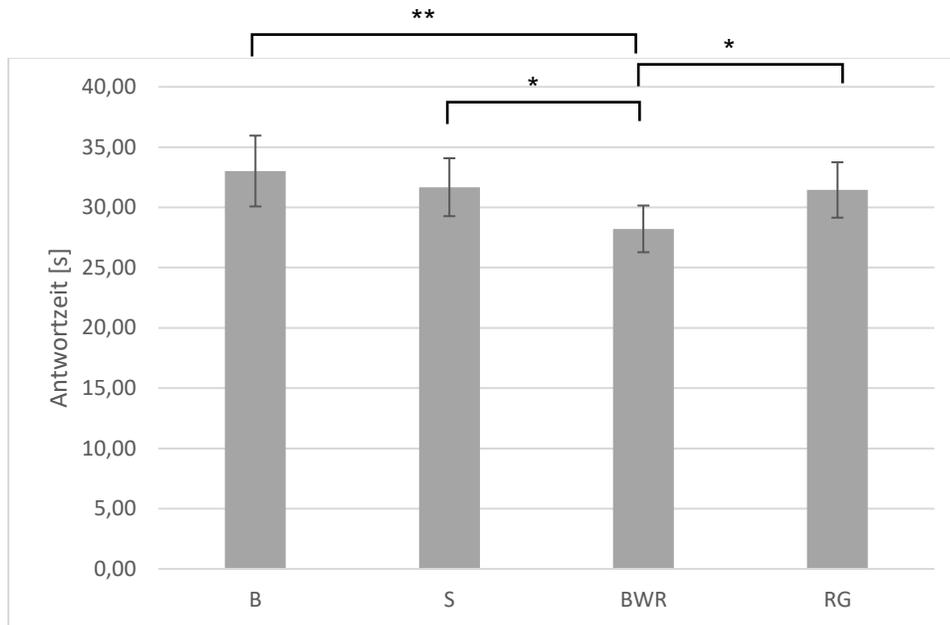


Abbildung 38: Antwortzeit in Aufgabe 3 je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Anova mit Messwiederholung zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Farbskalen, $F(3,102)=5.519$, $p<0.01$ partielles $\eta^2=0.401$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen BWR-B ($p=0.002$), BWR-S ($p=0.019$) und BWR-RG ($p=0.028$).

Die Experten benötigten mehr Zeit bei B und BWR, Laien benötigten für die Beantwortung der Fragen bei S und RG mehr Zeit. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant, wie eine Mixed Anova ergab, $F(1,33)=0.53$, $p>0.05$. Es wurde auch kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala gefunden $F(3,99)=1.933$, $p>0.05$.

Hintergrund

Die Unterschiede zwischen den Hintergründen Schwarz und Weiss erweisen sich bei der Effizienz der Antwort als nicht signifikant, Dies resultiert aus einer mehr-faktoriellen Anova mit Messwiederholung, $F(1,34)=0.043$, $p>0.05$. Unabhängig von der Farbskala wurde demnach bei unterschiedlichem Hintergrund nicht signifikant unterschiedlich viel Zeit für die Beantwortung der Fragen benötigt.

Die mehr-faktorielle Anova mit Messwiederholung zeigte aber einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Hintergrund und Farbskala auf, $F(3,102)=9.424$, $p<0.05$, partielles $\eta^2=0.217$. Kontraste ergaben eine signifikante Interaktion zwischen S und RG, $F(1,34)=17.172$, $p<0.001$, partielles $\eta^2=0.336$, BWR und RG, $F(1,34)=11.271$, $p<0.01$, partielles $\eta^2=0.249$ sowie B und RG, $F(1,34)=22.943$, $p<0.001$, partielles $\eta^2=0.403$. Demnach wurden bei B, S und BWR mit schwarzem Hintergrund signifikant schneller geantwortet als bei RG mit schwarzem Hintergrund im Vergleich zum weissen Hintergrund.

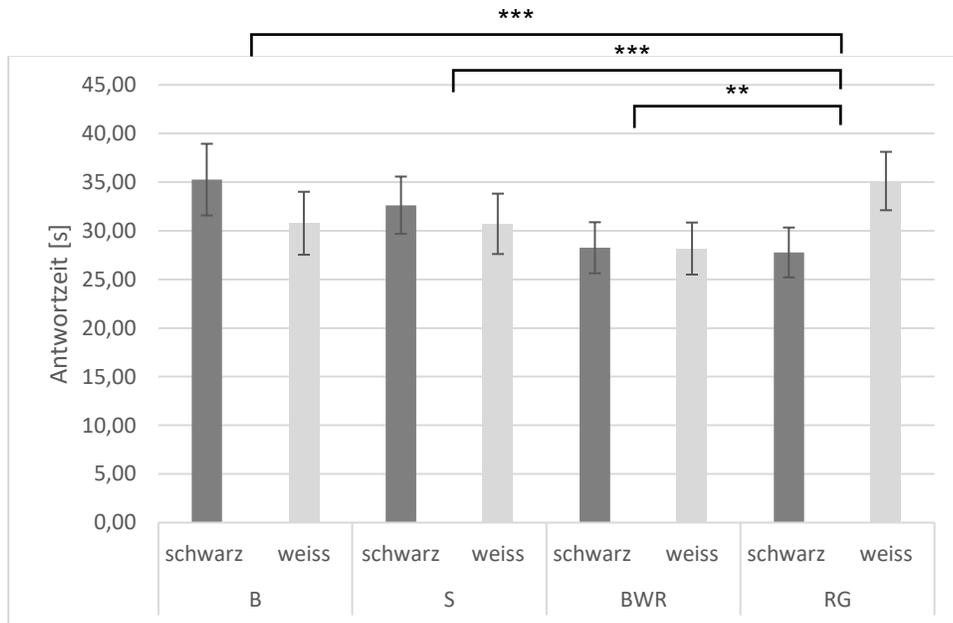


Abbildung 39: Effizienz der Antworten der Aufgabe 3 je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung, Farbskala und Hintergrund konnte nicht festgestellt werden, $F(3, 99)=1.504$, $p>0.05$. Es konnte kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Hintergrund gefunden werden, $F(1,33)=2.917$, $p>0.05$. Ein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung konnte auch ausgeschlossen werden, $F(1,33)=0.053$, $p>0.05$.

5.5.4 Eye-Tracking

AOI Hirnkarte: Zeit pro Betrachtung

Die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung war bei BWR ($M=0.901$, $SE=0.033$) im Vergleich zu B ($M=1.050$, $SE=0.043$), S ($M=0.991$, $SE=0.040$) und RG ($M=1.042$, $SE=0.038$) am tiefsten (siehe Abbildung 40).

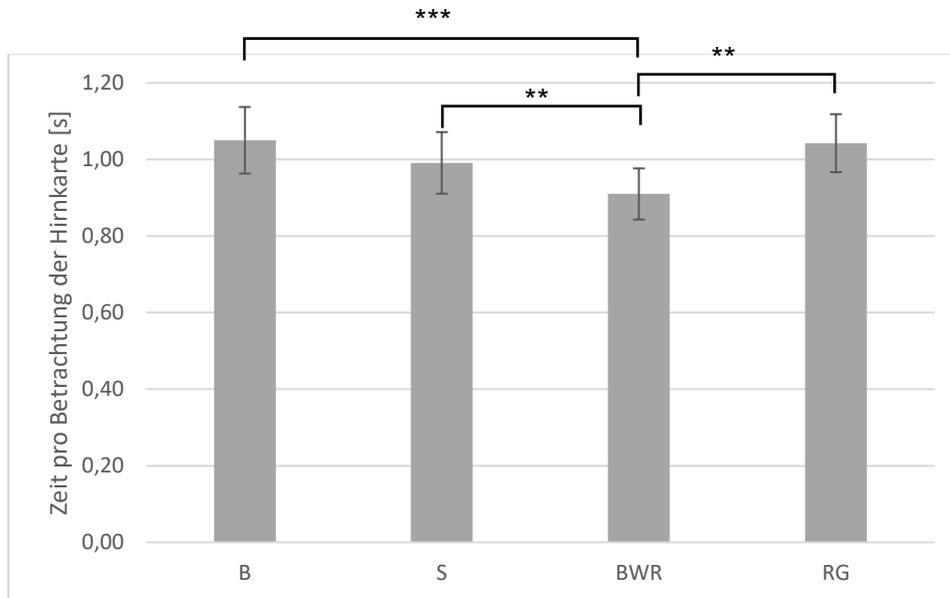


Abbildung 40: Durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Anova mit Messwiederholung zeigte einen signifikanten Unterschied, $F(2.412,81.997)=9.343$, $p<0.001$, partielles $\eta^2 = 0.216$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen BWR-B ($p=0.000$), BWR-S ($p=0.005$) und BWR-RG ($p=0.001$). Eine signifikanter Effekt der Erfahrung konnte nicht gefunden werden, $F(1,33)=0.537$, $p>0.05$. Es wurde auch kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala festgestellt, $F(2.385,78.714)=0.443$, $p>0.05$.

AOI Hirnkarte: Anteil der Betrachtungszeit

Die Hirnkarten mit der Farbskala B wurden durchschnittlich anteilmässig zur Gesamtbetrachtungszeit am längsten betrachtet ($M=0.455$, $SE=0.031$). Am wenigsten Zeit verbrachten die Testpersonen bei der Betrachtung der Hirnkarte mit der Farbskala BWR ($M=0.369$, $SE=0.021$). Bei S waren es durchschnittlich $M=0.386$ ($SE=0.028$) und bei RG $M=0.403$, ($SE=0.024$). Dies ist auch in Abbildung 41 ersichtlich. Eine Anova mit Messwiederholung zeigte auf, dass die Unterschiede signifikant sind, $F(3,102)=4.096$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.108$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen BWR-B ($p=0.002$). Der einfache Kontrast ergab zusätzlich einen signifikanten Unterschied zwischen B und S, $F(1,34)=4.750$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.123$.

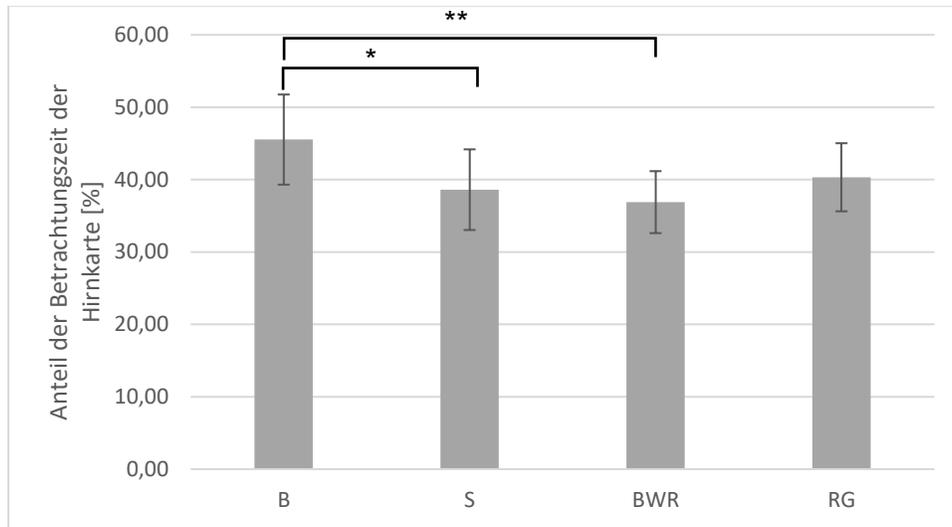


Abbildung 41: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte in % je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Mixed Anova ergab zudem einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und der Farbskala, $F(3,99)=3.993$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.108$. Das heisst, die totale Betrachtungszeit der Hirnkarte unterscheidet sich zwischen Experten und Laien je nach Farbskala. Einfache Kontraste ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen B und S ($F(1,33)=6.702$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.169$) und B und RG ($F(1,33)=8.185$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.199$). Die Experten haben bei der Verwendung der Farbskala B signifikant länger auf die Hirnkarte geschaut, als wenn das Hirn mit Farbskala S oder RG dargestellt wurde, im Vergleich zu den Laien.

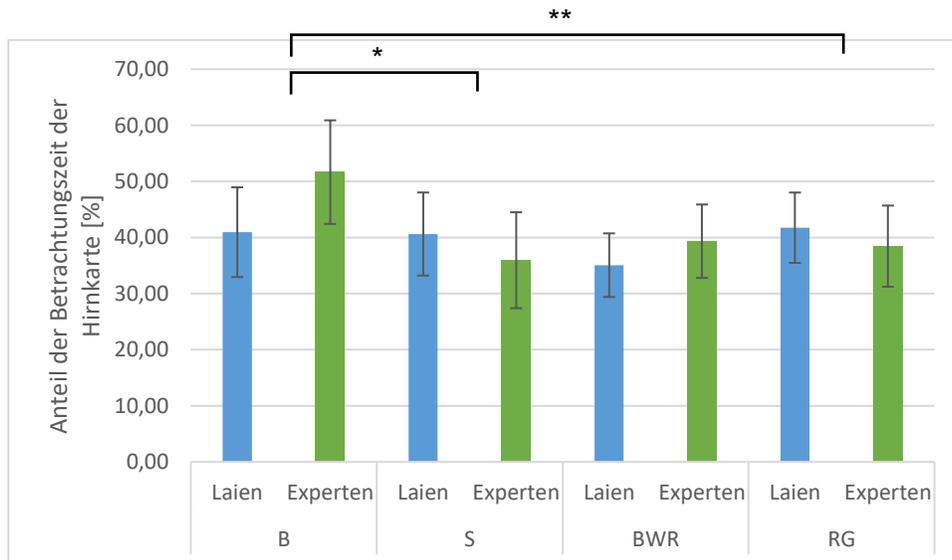


Abbildung 42: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte je Farbskala und Gruppe in % (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Hirnkarte: Anzahl Betrachtungen

Die Anzahl Betrachtungen der Hirnkarte variierte zwischen den Farbskalen (siehe Abbildung 43). Bei Hirnkarten mit B ($M=13.529$, $SE=0.645$) wurde im Durchschnitt 2-mal mehr die Hirnkarte betrachtet als bei BWR ($M=11.329$, $SE=0.497$), S ($M=11.757$, $SE=0.477$) und RG ($M=11.914$, $SE=0.533$). Eine Anova mit Messwiederholung zeigte, dass diese Unterschiede signifikant sind, $F(3,102)=6.314$, $p<0.05$, partielles $\eta^2=0.157$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen B-BWR ($p=0.001$) und B-RG ($p=0.019$). Der einfache Kontrast ergab zusätzlich einen signifikanten Unterschied zwischen B und S, $F(1,34)=7.179$, $p<0.05$, partielles $\eta^2=0.174$.

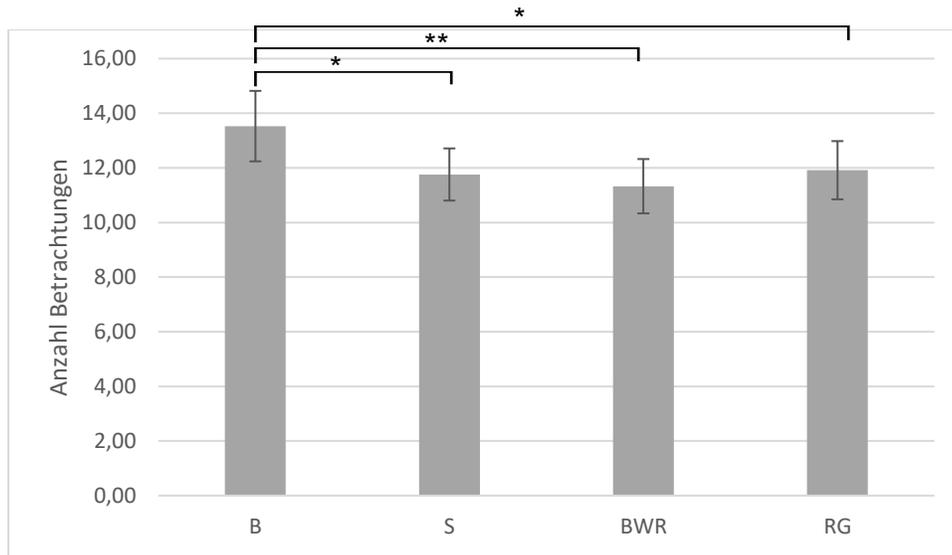


Abbildung 43: Durchschnittliche Anzahl Betrachtungen der Hirnkarte je Farbskala.

Eine Mixed Anova zeigte jedoch keinen Effekt der Erfahrung auf, $F(1,33)=0.078$, $p>0.05$, es wurde auch kein Interaktionseffekt zwischen Farbskala und Erfahrung gefunden, $F(3,99)=0.586$, $p>0.05$.

AOI Legende: mittlere Zeit pro Betrachtung

Die Legende bei B ($M=0.827$, $SE=0.036$) wurde durchschnittlich weniger lange betrachtet als bei S ($M=0.975$, $SE=0.037$), BWR ($M=0.910$, $SE=0.033$) und RG ($M=0.916$, $SE=0.038$).

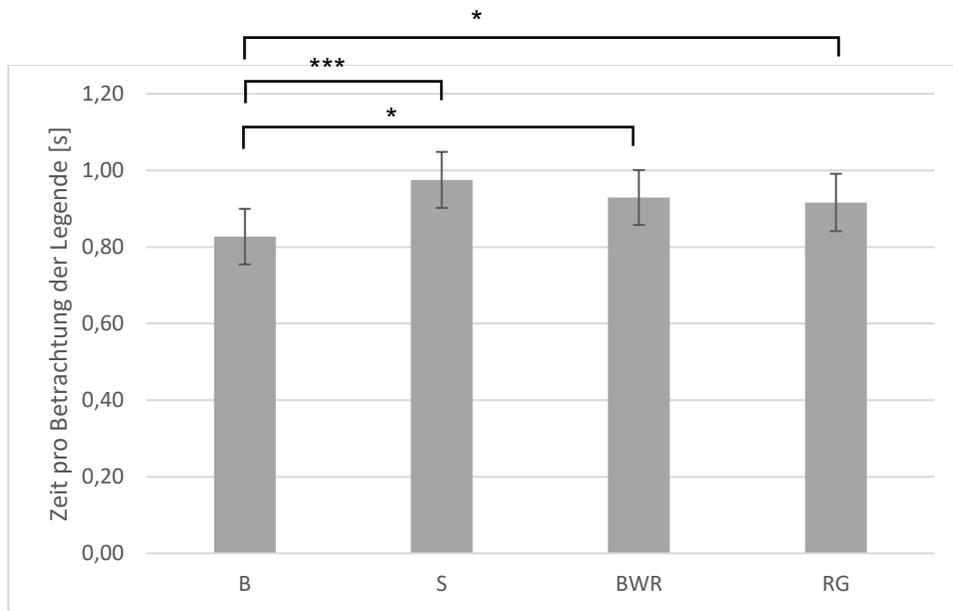


Abbildung 44: Durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Anova mit Messwiederholung zeigte signifikante Unterschiede, $F(3,102)=7.108$, $p<0.001$, partielles $\eta^2 = 0.173$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen B-S ($p=0.000$), B-BWR ($p=0.013$) und B-RG ($p=0.030$). Demnach wurden durchschnittlich pro Betrachtung die Legende bei B signifikant weniger lang betrachtet als bei S, BWR und RG. Die Gruppen zeigen jedoch keine signifikanten Unterschiede in der durchschnittlichen Zeit pro Betrachtung. Eine Mixed Anova ergab keinen Haupteffekt der Erfahrung, $F(1,33)=2.053$, $p>0.05$ und auch keinen Interaktionseffekt zwischen der Erfahrung und der Farbskala, $F(3,99)=0.787$, $p>0.05$.

AOI Legende: Anteil der Betrachtungszeit

Es zeigte sich, dass der Anteil der Betrachtungszeit der Legende an der Gesamtzeit bei der Farbskala B ($M=0.235$, $SE=0.019$) im Vergleich zu S ($M=0.265$, $SE=0.017$), BWR ($M=0.252$, $SE=0.017$) und RG ($M=0.244$, $SE=0.017$) am niedrigsten war. Eine Anova mit Messwiederholung zeigte jedoch keine signifikante Unterschiede an, $F(3,102)=0.942$, $p>0.05$.

Eine Mixed Anova zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen, d.h. es gab einen Interaktionseffekt zwischen der Farbskala und der Erfahrung, $F(3,99)=4.294$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.115$. Einfache Kontraste ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen B und S ($F(1,33)=7.798$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.191$), B und RG ($F(1,33)=7.369$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.183$) sowie S und BWR ($F(1,33)=6.258$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.159$). Die Experten haben signifikant länger auf die Hirnkarte mit Verwendung der Farbskala B als S geschaut im Vergleich zu den Laien. Die Experten haben auch signifikant länger auf die Hirnkarte mit Verwendung der Farbskala B als RG geschaut im Vergleich zu den Laien. Zudem haben die Laien signifikant länger auf die Hirnkarte mit Verwendung der Farbskala S als BWR geschaut im Vergleich zu den Experten (siehe Abbildung 45).

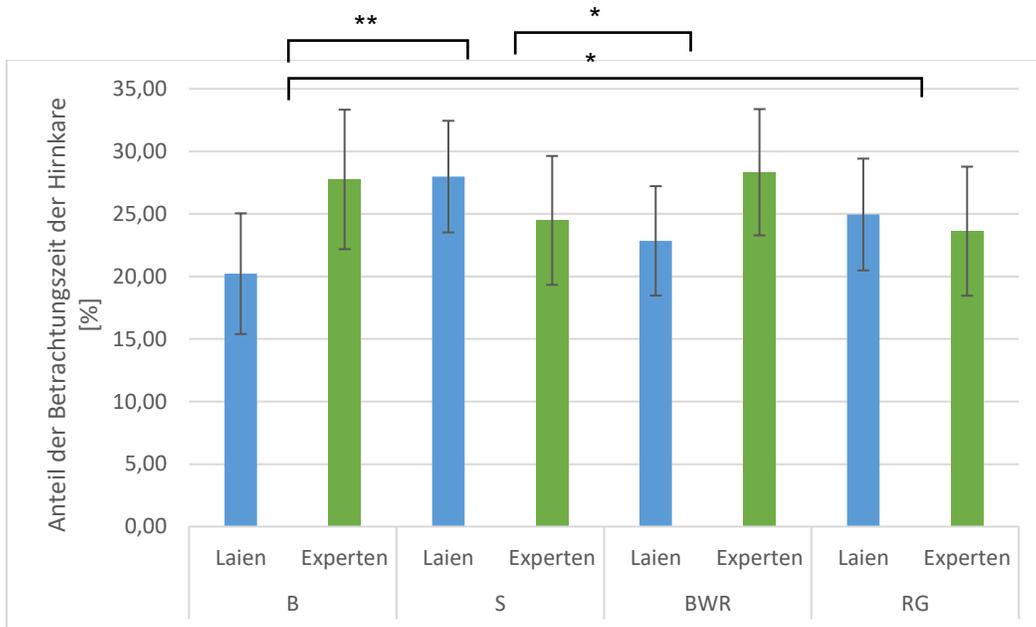


Abbildung 45: Totale Betrachtungszeit der Hirnkarte je Farbskala und Gruppe (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

AOI Legende: Anzahl Betrachtungen

Bei der Anzahl Betrachtungen der Legende fällt auf, dass die Legende bei B ($M=8.786$, $SE=0.513$) am häufigsten besucht wurde (siehe Abbildung 46). Am wenigsten wurde die Legende bei BWR ($M=7.351$, $SE=0.294$) besucht. Bei S wurde die Legende durchschnittlich 8.343-mal besucht ($SE=0.402$), bei RG 8.171-mal ($SE=0.394$). Eine Anova mit Messwiederholung zeigte einen signifikante Unterschied zwischen den Farbskalen, $F(3,102)=3.786$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.100$. Der paarweise Vergleich mit Bonferroni Anpassung für Mehrfachvergleiche zeigte signifikante Unterschiede zwischen B-BWR ($p=0.019$).

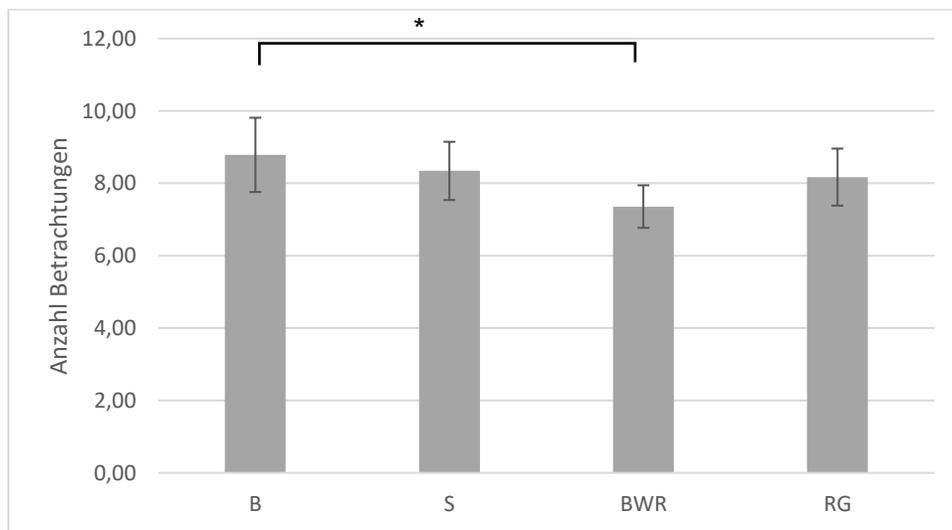


Abbildung 46: Anzahl Betrachtungen der Legende je Farbskala (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Eine Mixed Anova zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, d.h. es wurde kein Effekt der Erfahrung gefunden, $F(1,33)=0.099$, $p>0.05$. Es gab auch keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Erfahrung und Farbskala, $F(3,99)=2.148$, $p>0.05$.

Hintergrund

Die mehrfaktorielle Anova mit Messwiederholung zeigte einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Hintergrund und Farbskala, $F(3,102)=4.494$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.117$. Die Kontraste ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen S und RG, $F(1,34)=6.075$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.152$, BWR und RG, $F(1,34)=4.545$, $p<0.05$, partielles $\eta^2 = 0.118$, B und RG, $F(1,34)=13.327$, $p<0.01$, partielles $\eta^2 = 0.282$. Bei B und S wurde demnach signifikant häufiger die Legende betrachtet mit schwarzem Hintergrund im Vergleich zu RG.

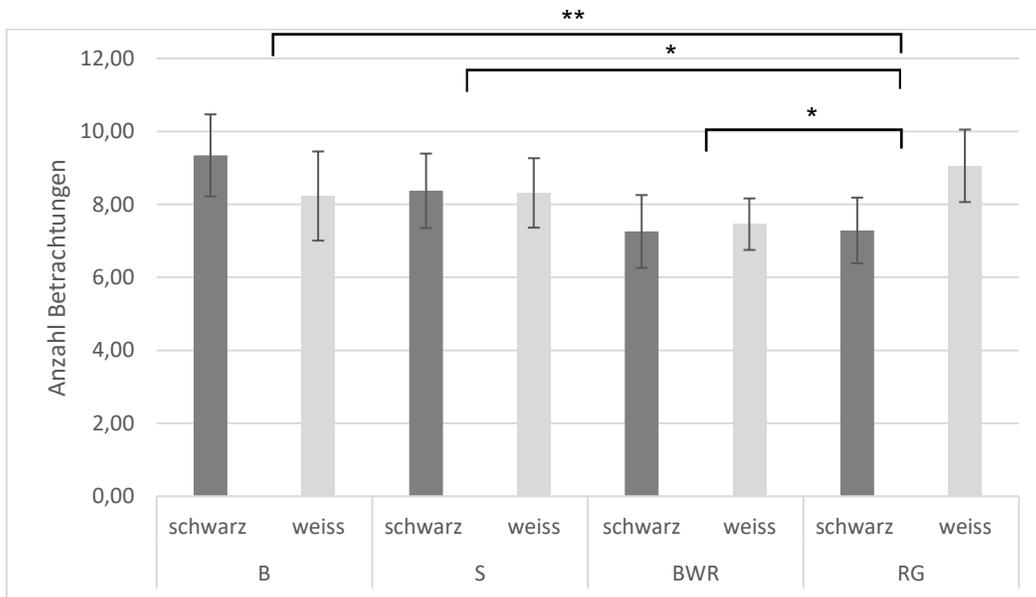


Abbildung 47: Anzahl Betrachtungen der Legende je Farbskala und Hintergrund (Mittelwert, ± 2 Standardfehler).

Es wurde aber kein Haupteffekt des Hintergrundes festgestellt, $F(1,34)=0.415$, $p>0.05$.

Kein signifikanter Interaktionseffekt wurde eruiert zwischen Erfahrung, Farbskala und Hintergrund, $F(3, 99)=1.837$, $p>0.05$ und zwischen Erfahrung und Hintergrund $F(1,33)=0.135$, $p>0.05$. Ein signifikanter Haupteffekt der Erfahrung konnte auch ausgeschlossen werden, $F(1,33)=0.099$, $p>0.05$.

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Anfangs aufgeworfenen Forschungsfragen (Kapitel 2) anhand der Resultate (Kapitel 5) untersucht und so weit wie möglich beantwortet. Die drei verschiedenen Aufgaben des im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Experiments werden weitgehend separat betrachtet und nur ausnahmsweise untereinander verglichen, da sich der Typus der Aufgaben unterscheidet (siehe Kapitel 4.4). Die Resultate aus der Aufgabe 1 werden in die Diskussion einbezogen, sind jedoch mit Vorsicht zu behandeln, da diese Aufgabe auch genutzt wurde, um den Testpersonen die beiden Extremstadien der Hirnaktivität zu zeigen. Die Resultate der Aufgabe 1 sind daher primär für die Auswertung bezüglich des Vertrauens zu Visualisierungen der funktionellen Bildgebung zentral. Die Resultate sämtlicher Aufgaben werden zudem einem Vergleich mit der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) unterzogen. Abschließend wird die Studie kritisch beleuchtet und deren Limitationen aufgezeigt. Zur Vereinfachung werden die Farbskalen zum Teil mit ihrer Abkürzung bezeichnet (spektrale Farbskala = S, divergierende Farbskala = BWR, sequentielle Farbskala = B, Schwarzkörperstrahlung-Farbskala = RG).

6.1 Forschungsfragen

6.1.1 Forschungsfrage 1

Welche Rolle spielt die persönliche Einstellung zum Thema Hirntod sowie die verwendete Farbskala beim Vertrauen in die funktionelle Bildgebung?

Die Antworten zur Aufgabe 1 zeigten, dass rund 83% der befragten Personen der Aussage, dass eine hirntote Person tot ist, zustimmen. Experten haben dieser Aussage durchschnittlich mehr zugestimmt als Laien, jedoch nicht signifikant. Eine positive Korrelation zwischen der Zustimmung und dem Vertrauen in Visualisierungen hirntoter Stadien konnte in der Studie Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) nachgewiesen werden, jedoch nicht in dieser Studie. Eine signifikante Korrelation zwischen der Zustimmung zu der Aussage und dem Vertrauen in die Visualisierungen beider Aktivitätsstadien (Aufgabe 1) konnte jedoch auch in der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie nachgewiesen werden. Dementsprechend haben Personen, welche die Meinung vertreten, dass eine hirntote Person tot ist, den Visualisierungen in Aufgabe 1 mehr vertraut, als jene, welche diese Meinung ablehnen. Das Vertrauen in eine Visualisierung hing nicht davon ab, ob das hirntote oder das gesunde Stadium gezeigt wurde.

Die Auswertung der Antworten zur Aufgabe 1 zeigte, dass die Testpersonen der spektralen Farbskala am meisten Vertrauen geschenkt haben. Dieses Resultat ergab auch die Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015). Das Ergebnis kann damit begründet werden, dass Visualisierungen mit dieser Farbskala sehr häufig verwendet werden, sowohl in wissenschaftlichen Artikeln (Borland und Taylor, 2007), aber

auch in den öffentlichen Medien (z.B. Wetter- oder Ozonkarten) (Brewer, 1997). Die Wahrscheinlichkeit, dass die Testpersonen bereits eine ähnliche Visualisierung mit Verwendung einer bestimmten Farbskala gesehen haben, ist deshalb bei der spektralen Farbskala höher als bei anderen Skalen, weshalb die spektrale Skala intuitiver und vertrauter erscheint. Ähnliche Ergebnisse haben auch Skarlatidou u.a. (2011) veröffentlicht. Deren Studie zeigte, dass Laien Visualisierungen mit einfach unterscheidbaren Farbtönen, wie z.B. Blau, Rot und Grün, mehr vertrauten, als Visualisierungen mit Farbhelligkeitsunterschieden (Skarlatidou u. a., 2011). In der im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Studie haben nicht nur die Laien, sondern auch die Experten die spektrale Farbskala als durchschnittlich meistvertrauenswürdig eingestuft. Ein signifikanter Effekt der Erfahrung hinsichtlich des Vertrauens in die Visualisierungen konnte im Gegensatz zur Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) nicht gefunden werden. Trotzdem kann die leicht erhöhte Vertrauensbewertung bei den Experten damit erklärt werden, dass die Testpersonen im Rahmen ihrer Tätigkeit primär mit dieser Art der Visualisierung konfrontiert werden (siehe Kapitel 3.2). Die Hypothese aus der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015), dass Experten die Visualisierungen unabhängig von der Farbskala beurteilen, konnte auch in der hier vorgenommenen Studie nicht bestätigt werden. Sowohl das Vertrauen der Laien, wie auch jenes der Experten, wurde durch die Wahl der Farbskala beeinflusst.

6.1.2 Forschungsfrage 2

Welchen Einfluss hat die Wahl der Farbskala auf Variabilität, Effektivität und Effizienz die Dateninterpretation in der funktionellen Bildgebung?

Es wird erwartet, dass die Wahl der Farbskala einen Einfluss auf die Dateninterpretation in der funktionellen Bildgebung hat. Die Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) hat gezeigt, dass die Wahl der Farbskala die Variabilität in der Interpretation der Bilder beeinflusst. Dies konnte auch mit der vorliegenden Studie nachgewiesen werden. Die Variabilität wurde in allen drei Aufgabenbereichen durch die Wahl der Farbskala verändert. Bei der Aufgabe 1 war die Variabilität signifikant tiefer bei Farbskala S, als bei den Farbskalen BWR und B. Bei Aufgabe 2 war sie signifikant tiefer bei S als bei B und bei Aufgabe 3 war die Variabilität signifikant am tiefsten bei BWR im Vergleich zu den anderen Farbskalen. Dies widerspricht der Erwartung, dass die Farbskala S am schwierigsten zu interpretieren sei (siehe Kapitel 3.1.2) und daher höhere Variabilität zeigt als die anderen Farbskalen. Dieses Resultat könnte damit begründet werden, dass allgemein sehr viele Visualisierungen mit Farbskala S dargestellt werden und daher für den Betrachtenden bekannter erscheinen (dazu bereits Kapitel 6.1.1). Wenn die spektrale Farbskala omnipräsent in der Gesellschaft ist, können die Betrachtenden diese Abfolge nach einiger Zeit intuitiv empfinden, indem sie

gelernt haben, in welcher Reihenfolge die Farben verwendet werden (Brewer, 1997). Eine weitere Möglichkeit ist, dass Testpersonen bei der am meisten vertrauten Farbskala (in dieser Studie Farbskala S) auch am aufmerksamsten und konzentriertesten waren und demnach weniger variabel antworteten.

Gemäss den Resultaten hatten die verschiedenen Farbskalen jedoch keinen Einfluss auf die Effektivität der Beantwortung der Fragen. Zwar wurden bei Aufgabe 2 und 3 die Fragen bei Farbskala S minim korrekter beantwortet, jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Ähnliche Resultate wurden auch in der Studie von Fabrikant, Hespanha und Hergarty (2010) präsentiert, wobei verschiedene Designdarstellungen keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Antworten erzeugten.

Die Resultate betreffend Effizienz können mit jenen zur Variabilität in Verbindung gebracht werden. Zwar gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Farbskalen hinsichtlich der Effizienz in Aufgabe 1 und 2, jedoch war die Antwortzeit bei Farbskala S und BWR geringer als bei B und RG. Bei Aufgabe 1 war die Variabilität bei Skala S am geringsten und bei Aufgabe 2 bei den Farbskalen S und BWR. Eine geringere Variabilität der Antwort ging daher mit kürzerer Zeit bis zur Antwort einher. Aufgabe 1 und 2 wiesen diesbezüglich jedoch keine Signifikanz auf. Dennoch kann es als Indiz verstanden werden, dass weniger Unsicherheit bei den Farbskalen S und BWR bestanden und demnach die Testpersonen weniger variabel und schneller antworteten. Aufgabe 3 bestätigt diese Annahme mit signifikanten Unterschieden in der Variabilität und der Effizienz. Die Fragen wurden signifikant schneller bei der Farbskala BWR beantwortet, als bei den übrigen Skalen, und die Variabilität der Antwort war bei der Skala BWR ebenfalls am geringsten. Farbskala B weist im Vergleich zu den anderen Farbskalen weniger Kontrast auf und könnte daher für Aufgaben, bei welchen einzelne Datenwerte herausgelesen werden müssen (wie die Aufgabe 3) weniger gut geeignet sein. Zu dieser Schlussfolgerung kam auch Ware (1988). Eine spektrale Farbskala eigne sich demnach, wenn die Darstellung verwendet wird, um Zahlen herauszulesen. Eine Farbskala mit Helligkeitsunterschieden (wie z.B. Farbskala B) solle hingegen für die Darstellung räumlicher Strukturen verwendet werden, und eine Farbskala mit Helligkeits- und Farbtonunterschieden für die Informationsübertragung von form- oder räumlicher Strukturen. Die divergierende Farbskala weist Helligkeits- und Farbtonunterscheide auf und eignet sich daher gemäss Ware (1988) sowohl um einzelne Datenwerte herauszulesen, wie auch um räumliche Strukturen zu erkennen.

6.1.3 Forschungsfrage 3

Welche Rolle spielt die Expertise der Befragten bei der Variabilität, Effektivität und Effizienz der Dateninterpretation?

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen «Laien» und «Experten» konnten nur bei den Eye-Tracking Resultaten festgestellt werden. Die Effizienz, Effektivität und Variabilität der Antworten wurde durch die Erfahrung nicht signifikant beeinflusst. Die Effizienz war bei den Experten in Aufgabe 1 geringfügig

höher als bei den Laien. In Aufgabe 2 und 3 war die Effizienz der Experten jedoch tiefer als jene der Laien. In Bezug auf die Effizienz kann somit die Hypothese, dass Experten eine Aufgabe schneller lösen als Laien, welche z.B. in der Studie von Çöltekin, Fabrikant und Lacayo (2010) aufgestellt und bestätigt wurde, nicht abschliessend beurteilt werden kann. Die Studie von Çöltekin, Fabrikant und Lacayo (2010) zeigte, dass Experten mehrheitlich schneller Informationen aus einer Karte lasen als Laien, und somit effizienter waren. Gemäss der Studie von Fabrikant, Hespanha und Hegarty (2010) benötigten jedoch Personen mit aufgabenrelevanter Erfahrung mehr Zeit bis zur Antwort als Unerfahrene. Die Resultate gehen daher auseinander, je nach dem welchen Einfluss die Erfahrung oder das Vorwissen auf die Effizienz einer Aufgabe haben. Dass die Experten in Aufgabe 1 schneller die Fragen beantworteten, könnte damit zusammenhängen, dass sie die Unterschiede zwischen normalem und totem Gehirn sehr gut kennen. Die Resultate der Aufgabe 2 lassen vermuten, dass die Experten die dargestellten Stadien aufgrund ihrer Expertise erkennen und deshalb eine gewisse Zeit für deren Interpretation aufwenden, während die Laien die Bilder nicht weitergehend interpretieren können und deshalb lediglich eine schnelle Schätzung abgeben.

Bei der Studie von Christen, Brugger und Fabrikant (2015, 2015) waren die Antworten bei den Laien weniger variabel als bei den Experten. Die in dieser Arbeit vorgenommene Studie hat diesbezüglich kein eindeutiges Resultat hervorgebracht. Laien wiesen zum Beispiel bei Aufgabe 1 bei allen Farbskalen höhere Variabilitätswert auf als Experten, ausser bei Farbskala RG, dort war die Variabilität höher bei den Experten. Bei Aufgabe 2 war die Variabilität der Experten im Vergleich zu den Laien bei den Farbskalen B, BWR und RG geringer, bei Skala S hingegen höher. Bei Aufgabe 3 war es genau umgekehrt: Experten wiesen höhere Variabilität bei Farbskalen B, BWR und RG auf als Laien, jedoch geringere bei Skala S. Zudem war die Variabilität der Experten gesamthaft bei Aufgabe 1 und 2 tiefer und bei Aufgabe 3 minim höher als jene der Laien. Demnach wurden Experten bei Aufgabe 1 und 2 weniger von den Farbskalen beeinflusst als die Laien. Dies stützt die Erwartung, dass Experten durch ihre Erfahrung und ihr Vorwissen die Visualisierungen unabhängiger von der Farbskala beurteilen und Laien eher durch die Art der Darstellung beeinflusst werden. Es unterstützt auch die Annahme, dass die Experten bei den beiden Aufgaben 1 und 2, welche eher nahe an neurowissenschaftlichen Fragestellungen angelehnt sind (vergl. Faymonville *u. a.*, 2004), weniger Variabilität in den Antworten aufweisen und bei einer allgemeinen Fragestellung wie in Aufgabe 3, wo kein besonderes Vorwissen nötig ist, gleich aufliegen. Jedoch sind diese Interpretationen mit Vorsicht zu betrachten, da sich keine signifikanten Unterschiede bei der Effizienz und der Effektivität zwischen Laien und Experten ergaben.

Bei der Eye-Tracking Analyse wurden einige signifikante Unterschiede zwischen Laien und Experten gefunden. So betrug bei den Experten bei Aufgabe 1 und 2 unabhängig von der Farbskala die durchschnittliche Betrachtungszeit der Hirnkarte signifikant länger als bei den Laien. Experten haben zudem die Hirnkarte bei Aufgabe 1 und 2 anteilmässig zur gesamten Darstellung länger betrachtet als Laien. Dies widerspricht

der abgeleiteten These von Jacob und Karn (2003), gemäss welcher die durchschnittliche Zeit pro Betrachtung einer Visualisierung bei Experten tiefer ist als bei Laien, da die Experten weniger Schwierigkeiten haben, Informationen aus einer ihnen bekannten Darstellung zu extrahieren. Die höhere durchschnittliche Zeit pro Betrachtung der Experten eines bestimmten AOI kann aber als Mass der Wichtigkeit dieses AOI verstanden werden. Experten wissen bei der Betrachtung der Hirnkarte, wo sie Informationen extrahieren können und betrachten deshalb die Hirnkarte gründlicher und damit durchschnittlich länger als Laien. Dieser Ansatz wurde in der Studie von Fabrikant, Hespanha und Hegarty (2010) gebraucht, um zu erklären, warum Personen mit einem initialen Training für eine Aufgabe längere Antwortzeiten aufwiesen. Die Resultate der Effizienz aus Aufgabe 2 und 3 der in dieser Arbeit durchgeführten Studie stützen diese Annahme. Ist zudem der Anteil an Betrachtungszeit des AOI zur Gesamtbetrachtungszeit hoch, kann dies als weiterer Hinweis für die Wichtigkeit des AOI verstanden werden (Jacob und Karn, 2003). Dieser Anteil war bei den Experten signifikant höher als bei den Laien in Aufgabe 1 und 2, unabhängig von der Farbskala. Experten haben demnach mehr Zeit für die Betrachtung der Hirnkarte aufgewendet als die Laien. Dies kann auch damit erklärt werden, dass Experten weniger Zeit zum Verständnis des Bildbeschriebs benötigen, da Ihnen die dargestellten Informationen bekannt sind.

Die Resultate hinsichtlich der Hirnkarten der Aufgabe 3 sind zudem ein Hinweis auf einen weiteren interessanten Aspekt. Bei der Aufgabe 3 waren die Unterschiede zwischen Laien und Experten beim Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte nicht generell höher resp. tiefer, sondern das Verhältnis variierte in Abhängigkeit von der Farbskala. Der Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte war bei den Experten signifikant höher bei Farbskala B als bei den Laien im Vergleich zu den Skalen S und RG. Dies kann damit begründet werden, dass Experten für die ihnen bekannten Darstellungen (mit S und RG) anteilmässig weniger auf die Hirnkarte schauten als bei den Ihnen unbekanntem.

Dasselbe ist auch bei der Betrachtung der Legende bei Aufgabe 3 erkennbar. Der Anteil an Betrachtungszeit der Legende bei den Experten war bei ihnen bekannten Darstellungen tiefer. Das heisst, Experten haben bei Aufgabe 3 bei Darstellungen mit den Farbskalen S und BWR die Legende weniger lang und weniger oft konsultiert, als bei den Farbskalen B und BWR. Die Anzahl der Betrachtungen der Legenden war bei den Experten bei S und RG jedoch nicht signifikant kleiner als bei den Laien bei S und RG. Es kann dennoch gesagt werden, dass die Experten visuell effizienter waren bei den Ihnen gängigen Visualisierungen, da sie weniger Zeit für die Betrachtung der Legende benötigten und diese auch minim weniger oft konsultierten als die Laien. Dies wurde hinsichtlich der Farbskala S auch in Aufgabe 1 eruiert, so dass Experten bei Farbskala S visuell effizienter waren als Laien bei der Farbskala S. Bei der Farbskala RG waren bei Aufgabe 1 jedoch die Laien visuell effizienter als die Experten bei derselben Farbskala.

Es lässt sich somit schlussfolgern, dass die Resultate der Eye-Tracking-Analyse des AOI Hirnkarte über alle Aufgaben ein ähnliches Fazit hinsichtlich des Einflusses der Erfahrung ergeben. Experten haben sich mehr mit der Hirnkarte auseinandergesetzt als Laien. Die Resultate des AOI Legende sind hingegen nicht in allen Aufgaben widerspruchsfrei, jedoch ist die Tendenz erkennbar, dass Experten visuell effizienter Informationen aus der Legende extrahierten als Laien, bei den ihnen bekannten Farbskala S.

6.1.4 Forschungsfrage 4

Wie läuft der Prozess bei der Dateninterpretation bzw. die Informationsaufnahme in Bezug auf die Farbskala ab?

Zu dieser Forschungsfrage wird mit Hilfe des Auswertungsschlüssels (siehe Tabelle 4.1) und den diskutierten Ansätzen aus Kapitel 3.3.3 Stellung genommen. Zuerst werden die Resultate betreffend Hirnkarte und anschliessend betreffend der Legend besprochen.

Es ist vorwegzunehmen, dass die Interpretation der analysierten Grössen der Hirnkarte und der Legende nicht gleichlaufend ist. Dies resultiert auch aus der Tabelle 4.1. Bei der Hirnkarte können höhere Anteile der Betrachtungszeit einen Hinweis auf die vom Betrachtenden empfundene Wichtigkeit der Hirnkarte geben. Ist der Anteil der Betrachtungszeit der Legende bei einer Gruppe oder Farbskala höher als bei der anderen Gruppe oder Farbskalen, spricht dies zwar einerseits dafür, dass die Legende als wichtiger Visualisierungsbereich gesehen wird, jedoch andererseits auch dafür, dass die Hirnkarte weniger intuitiv verstanden wird, und die Legende zum Verständnis der Hirnkarte mehr konsultiert werden muss.

Längere Betrachtungszeiten der Hirnkarte bei einer Farbskala als bei einer anderen in Kombination mit einem höheren Anteil der Betrachtung der Hirnkarte an der Gesamtbetrachtungszeit derselben Farbskala sprechen dafür, dass die Testpersonen die Hirnkarte als informativ empfunden haben, eher länger verweilten und mehr Informationen extrahiert haben. Bei der Aufgabe 2 waren die Unterschiede zwischen den Farbskalen RG, BWR und S bei der Betrachtungszeit und dem Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte an der Gesamtbetrachtungszeit signifikant. Dabei wurden die Hirnkarten bei Visualisierungen mit Farbskala RG kürzer betrachtet, als bei Verwendung der Skalen BWR und S. Dieses Resultat wurde auch in Aufgabe 1 eruiert, jedoch ohne Signifikanz. Es kann somit gesagt werden, dass bei den Visualisierungen mit den Farbskalen BWR und S die Testpersonen die Hirnkarte als informativer und ansprechender empfunden haben, als bei der Farbskala RG und diese länger betrachteten. Bei Aufgabe 3 war die Betrachtungszeit der Hirnkarte signifikant höher bei den Farbskalen B, S und RG, als bei der Farbskala BWR. Anteilsmässig wurde die Hirnkarte bei Farbskala B länger und öfter betrachtet, als bei den Skalen BWR und S. Die Resultate betreffend Hirnkarte aus Aufgabe 3 und die Annahmen aus Tabelle 4.1 sprechen dafür, dass bei Visualisierungen mit Farbskala B die Hirnkarte als wichtiger und interessanter wahrgenommen wurde, als bei den anderen Farbskalen. Jedoch stellt das unten diskutierte Switchen zwischen Legende und Hirnkarte, welches

bei der Aufgabe 3 bei der Farbskala B am höchsten war, dieses Fazit betreffend Farbskala B in Frage. Wohlmöglich kann für die Aufgabe 3 der Auswertungsschlüssel gemäss Tabelle 4.1 nicht vollumfänglich angewandt werden, da die Art der Aufgabe 3 ziemlich unterscheidet zur Aufgabe 1 und 2 ist. Die Aufgabe 3 umfasst eher eine Dekodierungsaufgabe, die Aufgabe 1 und 2 dafür eher eine Informationssuchaufgabe. Für eine Dekodierungsaufgabe könnte es mehr Sinn machen, die Annahme zu treffen, dass eine kürzere Betrachtungszeit mit effizienterer Informationsaufnahme einhergeht. Unter dieser Prämisse würde die Farbskala BWR als visuell effizient resultieren.

Die Betrachtungszeit der Legende war bei Aufgabe 1 signifikant tiefer bei Skala B als bei den Farbskalen BWR, S und RG. In Aufgabe 1 wurde somit bei der Legende von Skala B schneller Informationen extrahiert als bei der Legende der Farbskala BWR, da die Skala B durch die Helligkeitsunterschiede als intuitiv wahrgenommen wurde. Bei Aufgabe 2 wurden tiefere Betrachtungszeiten und tiefere Anteile der Betrachtungszeit der Legende bei den Skalen B und BWR im Vergleich zu S und RG aufgenommen. Dies ist ein Hinweis, dass Personen bei Aufgabe 2 bei den Visualisierungen mit Farbskala B und BWR effizienter Informationen aus der Legende extrahierten und auch weniger Zeit gesamthaft bei der Legende verbrachten. Dies wird zum Teil auch in Aufgabe 3 bestätigt, wo die Betrachtungszeit der Legende bei Skala B am tiefsten war und bei Skala S am höchsten. Zusätzlich konnte in Aufgabe 3 auch bezüglich der Refixierung der Legende ein signifikantes Ergebnis gefunden werden. Die Anzahl Refixierungen der Legende war bei Farbskala BWR signifikant am tiefsten und bei Skala B am höchsten. Die Legende wurde daher bei B öfters konsultiert. Da eine erhöhte Refixierung der Legende und der Hirnkarte bei Aufgabe 3 bei der Farbskala B eruiert wurde, ist dies ein Indiz für ein erhöhtes Switchen zwischen Hirnkarte und Legende. Dieses Verhalten kann mit einer Unsicherheit des Betrachtenden und der damit verbunden, wiederholten Überprüfung der gefunden Information interpretiert werden (Goldberg und Kotval, 1999).

Es kann somit gesagt werden, dass über alle Messuntersuchungen bei allen Aufgaben Visualisierungen mit der Farbskala S aus visuell analytischer Sicht nicht überragt haben. Visualisierungen mit Farbskala S gingen vermehrt mit längeren Betrachtungszeiten der Legende einher. Die Legende wurde auch mehr fixiert, was ein Anzeichen für Unsicherheit ist und daher eine ineffiziente Suche oder Bestätigung der Information widerspiegelt (Goldberg und Kotval, 1999). Zudem gibt es auch einen Hinweis darauf, dass die Testpersonen mehr Zeit für die Verarbeitung der Hirnkarte benötigten, da die Informationen nicht direkt verstanden wurden, weil die Abfolge der Farben nicht intuitiv war (vergl. MacEachren, 1995). Gemäss Goldstone und Henrickson (2010) tendieren die Testpersonen zudem dazu, die verschiedenen Farbtöne in Kategorien mit scharfen Grenzen zu betrachten. Sie müssen dabei vermehrt die Legende konsultieren, um ein Verständnis der Hirnkarte zu erlangen. Bei Farbskala BWR wurde weniger oft die Legende konsultiert und in vielen Visualisierungen mit Skalen BWR und B wurde die Legende anteilmässig weniger lange betrachtet. Auch die Betrachtungszeit der Legende war bei den Farbskalen BWR und B tiefer als bei den anderen Farbskalen.

Bei der Analyse der Gazeplots zeigt sich zudem, dass vor allem die Legende bei Farbskala B gesamtheitlicher betrachtet wurde, als die Legende bei Skala S. Dieses Resultat kann damit begründet werden, dass bei der Farbskala B weniger Kontrast besteht als bei der Farbskala S. Bei der Farbskala S gibt es mehrere Farbtöne, welche die visuelle Aufmerksamkeit der Testpersonen auf sich ziehen. Es sind dies die Bereiche Rot und Gelb. Diese Bereiche wurden in der Legende der Farbskala S gemäss den Gazeplots auch mehr betrachtet. Testpersonen wurden dementsprechend bei Farbskala B weniger durch farblich hervorgehobene Bereiche visuell abgelenkt.

6.1.5 Forschungsfrage 5

Welche Rolle spielt die Wahl der Hintergrundfarbe bei der Variabilität, Effektivität und Effizienz der Dateninterpretation in der funktionellen Bildgebung?

Es wurde herausgefunden, dass die Variabilität der Antworten bei der Farbskala BWR beim schwarzen Hintergrund signifikant tiefer war im Vergleich zu den Farbskalen B, S und RG bei weissem Hintergrund. Es wurde erwartet, dass beim schwarzen Hintergrund die Variabilität und die Effizienz bei den Farbskalen B und BWR höher liegt als bei weissem Hintergrund, da diese Farbskalen für diesen Hintergrund konzipiert wurden (vergl. Brewer, Hatchard und Harrower, 2003). Diese Hypothese konnte aber nur für Farbskala B bestätigt werden. Bei der Farbskala BWR war die Variabilität bei schwarzem Hintergrund tiefer, und hinsichtlich der Effizienz konnte keine Unterschiede festgestellt werden. Die Hypothese, dass der schwarze Hintergrund die gängigen Visualisierungen der funktionellen Bildgebung visuell besser unterstützt, kann nur hinsichtlich der Effizienz bei der Farbskala RG nachgewiesen werden. Die Testpersonen haben die Fragen mit Skala RG mit weissem Hintergrund weniger effizient beantwortet als mit schwarzem Hintergrund. Bei der Farbskala S war die Variabilität bei schwarzem Hintergrund grösser als bei weissem Hintergrund. Bei der Effektivität konnten keine Interaktion zwischen Farbskala und Hintergrund festgestellt werden.

Hinsichtlich der beiden Gruppen konnte folgende signifikante Resultate eruiert werden: Laien haben die Aufgaben auf schwarzem Hintergrund effektiver gelöst als Experten. Experten haben daher bei Weiss effektiver geantwortet. Es wurde jedoch erwartet, dass die Experten mehr Erfahrung bei der Interpretation bei Visualisierungen mit schwarzem Hintergrund und eine höhere Effektivität der Aufgabe erzielen. Diese Hypothese konnte mit den vorliegenden Resultaten nicht bestätigt werden.

Zur Untersuchung, ob der Hintergrund einen Effekt auf die visuelle Analyse der Hirnkarten in Aufgabe 3 hatte, wurde getestet, ob ein Einfluss auf die Anzahl Betrachtungen der Legende bestand. Bei den Farbskalen S und BWR wurde die Legende bei beiden Hintergründen etwa gleich oft konsultiert. Bei der Skala B wurde die Legende jedoch bei schwarzem Hintergrund öfters konsultiert und bei der Skala RG bei weissem Hintergrund. Dies spricht gemäss Jacob und Karn (2003) dafür, dass bei Farbskala B mit schwarzem

Hintergrund und bei Farbskala RG mit weissem Hintergrund die Unsicherheit bei der Beantwortung der Frage höher war.

Nicht alle Resultate legen eine gleichgerichtete Interpretation nahe. Es kann jedoch gesagt werden, dass bei der Kombination von weisser Hintergrundfarbe und Farbskala RG am wenigsten Kontrast resultiert und die Interpretation der Hirnkarte erschwert wird. Dasselbe haben auch die Resultate der Effizienz bei schwarzem Hintergrund und Farbskala B erhärtet; der schwarze Hintergrund hat den Kontrast bei Visualisierungen mit der Farbskala B nicht optimiert, da die Farbskala B für einen weissen Hintergrund konzipiert wurde (vergl. Brewer, Hatchard und Harrower, 2003). Abschliessend kann der Einfluss der Hintergrundfarbe jedoch nicht gesamthaft konsolidiert werden, da auch die Repräsentativität der Resultate der in dieser Arbeit vorgenommenen Studie diesbezüglich in Frage gestellt werden muss, weil je Farbskala und Hintergrund nur eine Visualisierung den Testpersonen vorgelegt wurde (siehe folgendes Kapitel 6.3).

6.2 Hauptforschungsfrage

Anhand der Diskussion dieser 5 Forschungsfragen ist es nun möglich, ein Fazit zu ziehen, und damit auf die Hauptfrage dieser Arbeit einzugehen.

Wie beeinflussen die kartographischen Designprinzipien der Farbdarstellung die Dateninterpretation und die Informationsaufnahme bei der funktionellen Bildgebung?

Die kartographischen Designprinzipien der Farbdarstellung können die Effizienz, die Variabilität der Dateninterpretation, aber auch den Prozess der Informationsaufnahme, bei der funktionellen Bildgebung beeinflussen. Dies zeigen die Resultate aus der Aufgabe 3, bei welcher die Fragen mit der Farbskala BWR am effizientesten und am wenigsten variabel gelöst wurden, und auch in kognitiver Hinsicht überzeugten. Die Farbskala BWR basiert auf den Überlegungen von Brewer (1996), wobei diese Farbskala vor allem bei quantitativen Daten mit divergierender Struktur verwendet wird, mit einem kritischen Wert als mittlerer Bereich in der Farbskala. In der funktionellen Bildgebung könnte dieser kritische Wert als Bereich einer bestimmten (mindestens notwendigen) Aktivität eingestellt werden. Die Skala könnte gemäss den generellen Farbassoziationen umgestellt werden, damit Rot den Bereich unterhalb des kritischen Bereichs darstellt und Blau den Bereich oberhalb. Die BWR Farbskala wäre so intuitiver für die Betrachtenden. Bei der Farbskala BWR werden auch visuelle Artefakte reduziert, welche vor allem bei der Farbskala S zu Fehleinschätzungen der Daten führen (vergl. Kapitel 3.1.2 v.a. Abbildung 4 und Abbildung 6). Eine Visualisierung mit der Farbskala BWR in der funktionellen Bildgebung ist für Personen mit einer Farbfehlsichtigkeit auch besser lesbar als jene der Farbskala S, sofern die beiden Farbtöne richtig abgestimmt werden. Die BWR Farbskala erwies sich auch hinsichtlich Aufgabe 1 und dem Vertrauen in die Visualisierung als gute Wahl. Zwar wurden Visualisierungen mit der Farbskala S immer noch vertrauenswürdiger eingestuft, die Farbskala BWR erhielt aber die 2. beste Bewertung und konnte daher auch mehr überzeugen als die Farbskala

RG. Farbskalen, bei welchen nur die Farbhelligkeit verändert wird, wie z.B. die Farbskala B, erwiesen sich in dieser Studie als weniger geeignet für Darstellungen in der funktionellen Bildgebung, da diese sowohl hinsichtlich der Variabilität der Antworten wie auch der Effizienz weniger gut abschnitten als jene Farbskalen, bei welchen verschiedene Farbtöne (BWR, RG und S) verwendet wurden. Farbskalen, welche lediglich die Farbhelligkeit variieren, sind zwar durch die Konvention «je dunkler desto mehr» intuitiv, weisen aber wenig Kontrast auf und erschwert damit die Informationsaufnahme.

Die Diskussion der Forschungsfragen im vorangegangenen Kapitel 6.1 hat jedoch auch gezeigt, dass nicht nur die kartographischen Designprinzipien und damit die Bottom-Up Effekte die visuelle Analyse der Testpersonen beeinflussen, sondern auch wie dies Top-Down-Effekte tun. Die Resultate der Eye-Tracking Analyse zeigten zwar, dass die Farbskalen einen Einfluss auf die Anzahl Betrachtungen, die Betrachtungszeit und den Anteil der Betrachtung der Legende und der Hirnkarte hatten. Den unterschiedlichen Reizen oder Stimuli, welchen die Testpersonen durch die Variierung der Farbskala und der Hintergründe ausgesetzt waren, führten daher zu unterschiedlichen visuellen Analysen der Visualisierungen. Diese Erkenntnis konnte auch mit den Gazeplots bestätigt werden. Vor allem bei der Farbskala S, welche durch viele verschiedene Farbtöne einen hohen Kontrast aufwies, lag die visuelle Aufmerksamkeit der Testpersonen hauptsächlich in den salienten Bereichen. Dennoch zeigte die Analyse des Einflusses der Erfahrung der Testpersonen, dass auch Top-Down Effekte, wie Vorwissen zum Thema funktionelle Bildgebung, den Prozess der Informationsaufnahme beeinflusst haben. Die Experten wiesen eine höhere Betrachtungszeit der Hirnkarte auf als Laien, da sie bei der Betrachtung der Hirnkarte wissen, wie sie Informationen extrahieren können und demnach die Hirnkarte fundierter und dadurch länger betrachten. Höhere Anteile der Betrachtung der Hirnkarte bei den Experten zeigten auch, dass diese weniger Zeit für das Verständnis des Bildbeschreibs aufwendeten und mehr für die Extrahierung von Informationen bei der Hirnkarte.

6.3 Limitationen

Mögliche Limitationen dieser Arbeit sind in unterschiedlichen Bereichen vorhanden. In Bezug auf das Design der Studie ist zu erwähnen, dass die Aufgabe 1 und 2 nahe einer neurowissenschaftlichen Fragestellung angesiedelt sind. Die Bestimmung von Werten in einem Bereich (wie in Aufgabe 3) sind hingegen Aufgabentypen, die in dieser Art regelmässig in kartographischen Studien gestellt werden (z.B. Çöltekin u.a. (2009)). Diese Aufgaben gehören jedoch mutmasslich nicht zu den häufigsten Fragestellungen in den Neurowissenschaften. Es kann daher in Frage gestellt werden, inwiefern die Resultate aus der Aufgabe 3 repräsentativ für die Analyse von Designprinzipien für die funktionelle Bildgebung sind. Schliesslich ermöglichen interaktive Tools, welche auch in der Neurowissenschaft zur Verfügung stehen (Goldstone, Pestilli und Börner, 2015), solche Aufgaben leichter zu lösen, da sie den Farbwert eines konkreten Pixels exakt auslesen können (auch in der Kartographie).

Die Darstellung der Legende kann als weiterer, limitierender Punkt aufgefasst werden. Die Legende wurde als kontinuierlicher Verlauf gewählt und nicht klassiert, um den kontinuierlichen, nicht klassierten Charakter der Daten zu widerspiegeln. Für die Beurteilung der Darstellung, vor allem in Aufgabe 3, ist eine solche Legende jedoch mit einer gewissen Ungenauigkeit verbunden, da der visuelle Vergleich zwischen Farbton der Karte und der Legende schwierig ist. Die nicht klassierte Darstellung ist aber mathematisch genauer (Slocum *u. a.*, 2009). Gemäss Slocum (2009) sind die Resultate experimenteller Studien, welche klassierte und nicht klassierte Darstellungen verglichen, nicht eindeutig und es kann somit nicht abschliessend gesagt werden, ob eine klassierte oder eine nicht klassierte Darstellung vorzuziehen ist. Eine weitere Ungenauigkeit in den Antworten der Aufgabe 3 wurde aufgrund der Legendeneinheit generiert, da 10-Prozentpunkt-Schritte angegeben wurden. War ein Farbwert zwischen diesen beiden Schritten, führte dies dazu, dass die Testpersonen sich für den nächst höheren oder tieferen Schritt entscheiden mussten.

Betreffend Design der Studie müssen hier auch die Nachteile eines *Within-subject* Designs erwähnt werden. Das Hauptproblem stellen die Lerneffekte dar. Die Testpersonen können während des Experiments durch die bereits beantworteten Fragen dazu lernen (Martin, 2008). Dies kann sich auf den weiteren Verlauf der Befragung auswirken. Um dem entgegenzuwirken, wurden bei allen Aufgabenbereichen die Reihenfolge der Fragen randomisiert. Die Abfolge der Aufgaben war jedoch gegeben und konnte nicht randomisiert werden. Das heisst, es kann ein Lerneffekt über die drei Aufgaben hinweg stattgefunden haben. Dieser würde bei allen Testpersonen auftreten, möglicherweise jedoch nicht in demselben Ausmass.

Zudem nimmt im Laufe der Zeit des Experiments die Konzentration der Testpersonen ab und somit auch die Qualität der Daten, auch in Bezug auf das Eye-Tracking. Die Testpersonen wurden gebeten, während der Studie möglichst ruhig zu sitzen, vor allem nach der Kalibration des Eye-Tracking-Systems. Jedoch ist dies nur bis zu einem gewissen Grad umsetzbar, was einen Einfluss auf die Augenaufnahmen haben kann. Kleine Verschiebungen der Aufnahmen wurden aber in die Datenauswertung miteinbezogen, in dem zum Beispiel die AOI mit einer gewissen Pufferzone ausgewiesen wurden. Dadurch wurde z.B. eine Fixierung der Legende, welche aufgrund der Aufnahmeungenauigkeit ein wenig verschoben aufgenommen wurde, trotzdem als Legendenfixierung registriert.

Eine weitere Limitation ist die Inhomogenität der Gruppen. Dies war sowohl bei der Gruppe «Experten» wie auch bei der Gruppe «Laien» der Fall, doch war die Inhomogenität bei der Gruppe «Experten» höher. Bei den Experten wurde Vorwissen im Bereich der funktionellen Bildgebung vorausgesetzt. Bei der Rekrutierung der Testpersonen hat sich herausgestellt, dass es sehr schwierig ist, Experten für eine Befragung in einem Labor zu begeistern. Um die Durchführung der Studie zu gewährleisten, durfte deshalb kein übermässig strenger Massstab an den «Umfang» des Vorwissens angelegt werden. Die Probanden der Gruppe «Experten» verfügen alle über ein gewisses Vorwissen im Bereich der Medizin, jedoch ist der Umfang

unterschiedlich und die Variabilität des Vorwissens ist in der Gruppe der Experten eher gross. Zusätzlich ist die Gruppengrösse der Experten von 15 Personen eher knapp, da normalerweise 20 Personen die optimale Voraussetzung sind. Eine grosse Anzahl Testpersonen wird bei Field (2009) bei mehr als 30 festgelegt.

Die Auswertung hinsichtlich der Hintergrundfarbe sollte mit Vorbedacht betrachtet werden, da es je Farbskala und Hintergrund jeweils lediglich eine Frage zu beantworten gab. Es ist deshalb schwierig zu beurteilen, inwiefern die Resultate repräsentativ für die Kombination der Hintergründe und der Farbskalen sind.

Die Methode zur Auswertung der Effektivität der Aufgabe 2 und 3 basierte auf einem Beurteilungsraster (siehe Kapitel 4.5.2). Demnach wurden nicht nur korrekten Antworten gewertet, sondern auch Antworten, welche nahe der korrekten lagen. Dieses Raster führte bei Aufgabe 3 dazu, dass sehr viele Testpersonen fast alle Fragen richtig beantworteten. Je nachdem, wie gross die Bandbreite der Antworten, welche durch die Experimentleitung als richtig eingestuft werden, gewählt wird, kann dies einen Einfluss auf die Resultate haben.

Die Farbskalen B und BWR wurden mithilfe von *Colorbrewer* erstellt, welche gemäss Brewer, Hatchard und Harrower (2003) für die Darstellung mit weissem Hintergrund designt wurden. Vor allem die dunklen Farben in den divergierenden Farbskalen (bei BWR z.B. das Dunkelblau) weisen weniger Kontrast zu einem schwarzen Hintergrund auf, und sind demnach weniger geeignet für Darstellungen auf schwarzem Hintergrund. Diese Farben wurden allerdings bei Aufgabe 3 auch in Kombination mit schwarzem Hintergrund verwendet. Die Hirnkarten mit schwarzem Hintergrund haben im Gegensatz zu den Hirnkarten auf weissen Hintergrund diesen zusätzlichen Einfluss auf die Lesbarkeit dieser Visualisierungen und somit auch auf die Resultate. Farbskalen, welche auf den Prinzipien von Brewer basieren, aber für schwarze Hintergründe optimiert wurden, sind in der folgenden Abbildung 48 beispielhaft für divergierende Farbskalen ersichtlich und wurden von der Softwareplattform CARTO¹⁴ erweitert. Es ist in der folgenden Abbildung 48 erkennbar, dass die auf schwarzen Hintergrund zugeschnittenen Farbskalen die beiden Farbtöne an den Enden der Farbskala heller halten, als es bei Farbskalen, welche für weisse Hintergründe designt wurden der Fall ist, wie z. B. die Farbskala aus dieser Studie.

¹⁴ CARTO: <https://carto.com/carto-colors/> (Zugriff: 21. September 2017)

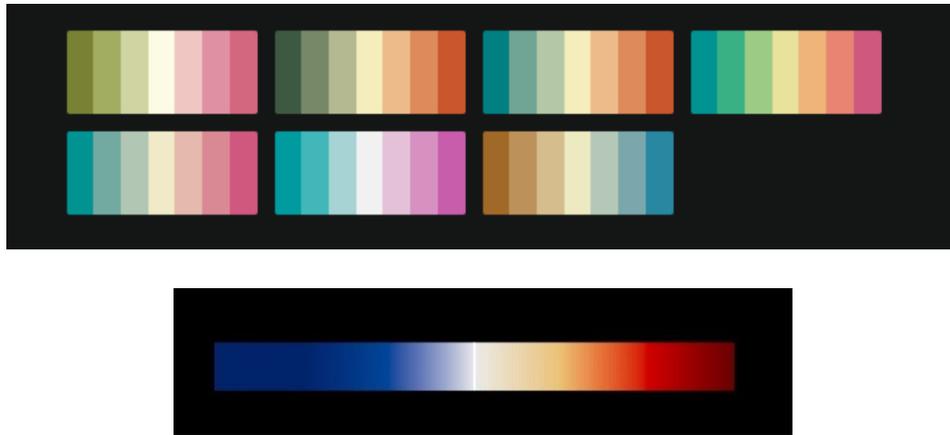


Abbildung 48: Farbskalen für schwarzen Hintergrund von CARTO¹⁵ und die Farbskala BWR aus der Studie auf schwarzem Hintergrund (eigene Darstellung).

¹⁵ CARTO: <https://carto.com/carto-colors/> (Zugriff: 21. September 2017)

7 Fazit und Ausblick

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene Studie zeigt, dass die visuellen Variablen, Farbton, Farbsättigung und Farbhelligkeit, eine wichtige Rolle bei der Dateninterpretation und Informationsaufnahme im Bereich der funktionellen Bildgebung spielen. Die standartmässig in der funktionellen Bildgebung verwendeten Farbskalen widersprechen kartographischen Designprinzipien. Die Analyse der Resultate der im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Studie zeigen aber, dass die funktionelle Bildgebung durch Beachtung der kartographischen Designprinzipien mindestens teilweise verbessert werden könnte. Aktuell ist die Verwendung von spektralen Farbskalen nach wie vor weit verbreitet (Borland und Taylor, 2007; White, Slocum und McDermott, 2017) und Personen bringen dieser Farbskala deshalb am meisten Vertrauen entgegen, wie diese Studie zeigte. Wird allerdings statt einer spektralen Skala eine Farbskala gewählt, die sorgfältig auf die Struktur der Daten abgestimmt ist, so können die Dateninterpretation und Informationsaufnahme verbessert werden. Wenn das Bewusstsein erhöht werden kann, dass eine Informationsvisualisierung von der richtigen Wahl der Farbskala profitiert, kann dies dazu führen, dass die mit der Erstellung von Visualisierungen betrauten Personen gängige Farbskalen vermehrt hinterfragen und bereit sind, sie durch andere, besser geeignete, zu ersetzen.

Die in dieser Arbeit vorgenommene Studie zeigte, dass die divergierende Farbskala für die funktionelle Bildgebung in den Neurowissenschaften gut geeignet ist. Dies deshalb, weil diese Farbskala den divergierenden Charakter der Daten visualisieren kann (vergl. Brewer, 1997), indem Datenpunkte unterhalb eines kritischen Bereichs in einer Zunahme in Rot dargestellt werden und die Datenpunkte oberhalb dieses Bereichs in einer Zunahme in Blau. Dies widerspricht an sich der kartographischen Konvention, wonach die positiven Werte über einem kritischen Wert mit einer visuell salienter Farbe wie Rot oder Gelb dargestellt werden. Die Darstellungen in der funktionellen Bildgebung dienen jedoch oftmals dazu, Bereiche mit geringer Aktivität hervorzuheben, und somit scheint es sinnvoll, diesen ein auffallender Farbton, wie z.B. Rot, zuzuordnen.

Die Erfahrung der die Visualisierung betrachtenden Person im Bereich der Dateninterpretation und Informationsaufnahme im Bereich der funktionellen Bildgebung kann die Interpretation und Verarbeitung der vorgelegten Visualisierung beeinflussen. Die Resultate der durchgeführten Studie zeigten, dass Betrachtende in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen unterschiedlich Informationen interpretieren. Es hat sich jedoch gezeigt, dass solche Top-Down Effekte in der Studie nicht in allen Bereichen als Ansatz für die Interpretation der Resultate verwendet werden konnten.

Aufschlussreich wäre eine vertiefte Untersuchung der Bottom-Up Effekte und deren Einfluss auf die Wahrnehmung von Visualisierungen. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel mit Hilfe des Salienz-Modell von Itti,

Koch und Niebur (1998), welches basierend auf den Salienz-Eigenschaften einer Darstellung vorhersieht, wo und in welcher Abfolge Personen diese betrachten, weitere Informationen zu sammeln. Damit kann überprüft werden, ob thematisch wichtige Bereiche auch salient sind (Fabrikant und Goldsberry, 2005). Zusätzlich könnte der Einfluss der Bottom-Up Effekte anhand der Zeit bis zur ersten Fixierung untersucht werden, da diese gemäss Henderson, Weeks und Hollingworth (1999) Stimuli abhängig sind.

Weiter könnte es lohnenswert sein, zu untersuchen, ob es einen Zusammenhang zwischen der von einer Person präferierten Farbskala und der Effektivität und Effizienz ihrer Dateninterpretation bei dieser Farbskala gibt. Es würde mithin geprüft, ob die Informationsinterpretation und -aufnahme der Person bei der von ihr präferierten Farbskala anders ist, als bei den von dieser Person nicht präferierten Skalen.

Sinnvoll wären auch vertiefte Untersuchungen betreffend die Verwendung einer divergierenden Farbskala, um zu eruieren, welche Farbkombinationen am geeignetsten sind, unter Berücksichtigung des Einflusses der Hintergrundfarbe. Mit diesen Erkenntnissen könnte der Designprozess von Visualisierungen in der funktionellen Bildgebung erweitert werden. Dies ist von Bedeutung, da Visualisierungen aus diesem Bereich nicht nur in einem wissenschaftlichen Umfeld präsent sind, sondern auch in der Öffentlichkeit sehr populär sind (Dumit, 2004). PET Bilder sind in Zeitungen, Fernsehen oder auch beim Arzt anzutreffen. Die Darstellungen sollten daher auch für Laien möglichst intuitiv verständlich sein.

Die Anwendung kartographischer Designprinzipien in einem Bereich ausserhalb der Kartographie, wie in der funktionellen Bildgebung, ermöglicht es, die kartographischen Standards in einem anderen Bereich zu testen und so neue Erkenntnisse über deren Anwendung zu erlangen und ihr zukünftiges Nutzungspotential zu erweitern.

8 Referenzen

- Bergman, L. D., Rogowitz, B. E. und Treinish, L. a. (1995) «A rule-based tool for assisting colormap selection», in *IEEE Visualization Conference*, S. 118–125.
- Bertin, J. (1983) *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Bertin, J. (2011) *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Redlands: Esri Press.
- Borland, D. und Taylor, R. M. (2007) «Rainbow color map (still) considered harmful», *IEEE Computer Graphics and Applications*, 27(2), S. 14–17.
- Brewer, C. (1996) «Guidelines for Selecting Colors for Diverging Schemes on Maps», *The Cartographic Journal*, 33(2), S. 79–86.
- Brewer, C. A. (1994) «Color use guidelines for mapping and visualization», in Taylor, D. R. F. und MacEachren, A. M. (Hrsg.) *Visualization in modern cartography*. New York: Elsevier Science, S. 123–147.
- Brewer, C. A. (1997) «Spectral Schemes: Controversial Color Use on Maps», *Cartography and Geographic Information Systems*, 24(4), S. 203–220.
- Brewer, C. A., Hatched, G. W. und Harrower, M. A. (2003) «ColorBrewer in Print: A Catalog of Color Schemes for Maps», *Cartography and Geographic Information Society*, 30(1), S. 5–32.
- Brügger, A. (2015) *WHERE ARE THE UPS AND DOWNS? Evaluating Elevation Representations for Bicycle Paths in City Maps*. Masterarbeit, Universität Zürich.
- Christen, M., Brugger, P. und Fabrikant, S. I. (2015) «Assessing the influence of color scales on data interpretation in neuroimaging - a comparative empirical study», in *Poster presentation at the 45th Society for Neuroscience Annual Meeting*. Chicago, IL.
- Christen, M., Brugger, P. und Fabrikant, S. I. (2015) «The influence of color-manipulation on data interpretation in neuroimaging and geographic information visualization», in *Oral and Poster presentation at the annual Meeting of the International Neuroethics Society*. Chicago, IL.
- Christen, M., Vitacco, D. A., Huber, L., Harboe, J., Fabrikant, S. I. und Brugger, P. (2013) «Colorful brains: 14years of display practice in functional neuroimaging», *NeuroImage*. Elsevier Inc., 73, S. 30–39.
- Cohen, J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. New York, N.Y: Psychology Press.

- Çöltekin, A., Fabrikant, S. I. und Lacayo, M. (2010) «Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings», *International Journal of Geographical Information Science*, 24(10), S. 1559–1575.
- Çöltekin, A., Heil, B., Garlandini, S. und Fabrikant, S. I. (2009) «Evaluating the Effectiveness of Interactive Map Interface Designs: A Case Study Integrating Usability Metrics with Eye-Movement Analysis», *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), S. 5–17.
- Dent, B. D. (1999) *Cartography: Thematic Map Design*. Dubuque, Iowa: William C. Brown.
- Dumit, J. (2004) *Picturing Personhood. Brain Scans and Biomedical Identity*. Princeton: Princeton University Press.
- Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R. und Meinhardt, J. (2007) «Color and psychological functioning: the effect of red on performance attainment», *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), S. 154–168.
- Fabrikant, S. I. (2016) «Of color, geography, and brains», in *Oral presentation at the Annual Meeting of the American Association of Geographers (AAG)*. San Francisco, CA.
- Fabrikant, S. I. und Goldsberry, K. (2005) «Thematic Relevance and Perceptual Salience of Dynamic Geovisualization Displays», in *Proceedings, 22th ICA/ACI International Cartographic Conference, A Coruña, Spain, July 9-16*.
- Fabrikant, S. I., Hespanha, S. R. und Hegarty, M. (2010) «Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making», *Annals of the Association of American Geographers*, 100(1), S. 13–29.
- Fabrikant, S. I., Montello, D. R., Ruocco, M. und Middleton, R. S. (2004) «The Distance–Similarity Metaphor in Network-Display Spatializations», *Cartography and Geographic Information Science*, 31(4), S. 237–252.
- Faymonville, M. E., Pantke, K. H., Berré, J., Sadzot, B., Ferring, M., De Tiège, X., Mavroudakis, N., Van Bogaert, P., Lambermont, B., Damas, P., Franck, G., Lamy, M., Luxen, A., Moonen, G., Goldman, S., Maquet, P. und Laureys, S. (2004) «Zerebrale Funktionen bei hirngeschädigten Patienten», *Anaesthetist*, 53(12), S. 1195–1202.
- Field, A. (2009) *Discovering Statistics using SPSS*. 3rd ed. SAGE Publications Ltd.
- Garlandini, S. und Fabrikant, S. I. (2009) «Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization», *Lncs*, 5756, S. 195–211.

- Gehlenborg, N. und Wong, B. (2012) «Points of view: Mapping quantitative data to color», *Nature Methods*. Nature Publishing Group, 9(8), S. 769–769.
- Goldberg, J. H. und Kotval, X. P. (1999) «Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs», *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), S. 631–645.
- Goldstein, E. B. (2009) *Sensation and Perception, Perception*.
- Goldstone, R. L. und Hendrickson, A. T. (2010) «Categorical perception», *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(1), S. 69–78.
- Goldstone, R. L., Pestilli, F. und Börner, K. (2015) «Self-portraits of the brain: Cognitive science, data visualization, and communicating brain structure and function», *Trends in Cognitive Sciences*, 19(8), S. 462–474.
- Healey, C. G. (1996) «Choosing effective colours for data visualization», *Proceedings of Seventh Annual IEEE Visualization '96*, S. 263–270.
- Hegarty, M., Canham, M. S. und Fabrikant, S. I. (2010) «Thinking about the weather: How display salience and knowledge affect performance in a graphic inference task.», *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 36(1), S. 37–53.
- Henderson, J. M. und Ferreira, F. (2004) *Scene Perception for Psycholinguists. In: The Integration of Language, Vision, and Action: Eye Movements and the Visual World*. New York: Psychology Press.
- Henderson, J. M., Weeks, P. A. und Hollingworth, A. (1999) «The Effects of Semantic Consistency on Eye Movements During Complex Scene Viewing», *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(1), S. 210–228.
- Herman, G. T. und Levkowitz, H. (1992) «The Design and Evaluation of Color Scales for Image Data», *IEEE Computer Graphics and Applications*, 12(1), S. 72–80.
- Imhof, E. (2007) *Cartographic Relief Presentation*. Neuauflage. Herausgegeben von H. J. Steward. Redlands, USA: Esri Press.
- Itti, L., Koch, C. und Niebur, E. (1998) «A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis», *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), S. 1254–1259.
- Jacob, R. J. K. und Karn, K. S. (2003) «Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research. Ready to Deliver the Promises.», *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, S. 531–553.

- Kosara, R., Healey, C. G., Interrante, V., Laidlaw, D. H. und Ware, C. (2003) «Thoughts on User Studies : Why, How, and When», *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23(4), S. 20–25.
- Light, A. und Bartlein, P. J. (2004) «The end of the rainbow? Color schemes for improved data graphics», *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 85(40), S. 385.
- MacEachren, A. M. (1994a) *Some truth with maps: A primer on symbolization and design*. Washington D.C.: Association of American Geographers.
- MacEachren, A. M. (1994b) «Visualization in modern cartography: Setting the agenda», in MacEachren, A. M. und Taylor, D. R. F. (Hrsg.) *Visualization in Modern Cartography*. Oxford: Pergamon, S. 1–12.
- MacEachren, A. M. (1995) *How maps work: Representation, visualization, and design*. New: Guilford.
- Mackinlay, J. (1986) «Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information», *ACM Transactions on Graphics*, 5(2), S. 110–141.
- Martin, D. W. (2008) *Doing Psychology Experiments*. 7. Aufl. Belmont: Wadsworth Cengage Learning.
- Montag, E. D. (1999) «The Use of Color in Multidimensional Graphical Information Display», *IS&T/SIS Seventh Color Imaging Conference*, S. 5.
- Montello, D. R. (2002) «Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches», *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), S. 283–304.
- Moreland, K. (2009) «Diverging color maps for scientific visualization», in *Proceedings of the 5th international symposium on visual computing. Lecture Notes in Computer Science*, S. 92–103.
- Olson, J. M. und Brewer, C. A. (1997) «An Evaluation of Color Selections to Accommodate Map Users with Color-Vision Impairments», *Source: Annals of the Association of American Geographers*, 87(1), S. 103–134.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J. und Guptill, S. C. (1995) *Elements of cartography*. 6th ed. New York: Wiley.
- Rogowitz, B. E. und Kalvin, A. D. (2001) «The «Which Blair project»: a quick visual method for evaluating perceptual color maps», in *Proceedings of the IEEE Visualization Conference*.
- Rogowitz, B. E. und Treinish, L. A. (1996) «How not to lie with visualization», *Computers in Physics*, 10(3), S. 268–273.
- Rogowitz, B. E. und Treinish, L. A. (1998) «Data visualization: the end of the rainbow», *IEEE Spectrum*, 35(12), S. 52–59.

- Schott, G. D. (2010) «Colored illustrations of the brain: some conceptual and contextual issues.», *The Neuroscientist*, 16(5), S. 508–518.
- Silva, S., Sousa Santos, B. und Madeira, J. (2011) «Using color in visualization: A survey», *Computers and Graphics*. Elsevier, 35(2), S. 320–333.
- Skarlatidou, A., Wardlaw, J., Haklay, M. und Cheng, T. (2011) «Understanding the Influence of specific Web GIS Attributes in the Formation of non-experts' Trust Perceptions», (Dunn 2007), S. 219–238.
- Slocum, T., McMaster, R., Kessler, F. und Howard, H. (2009) *Thematic Cartography and Geovisualization*. 3. Aufl. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Tobii AB (2016) «Tobii Studio User ' s Manual», *Tobii AB*. Verfügbar unter: <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/user-manuals/tobii-pro-studio-user-manual.pdf>.
- Tufte, E. R. (1990) *Envisioning Information*. Ceshire: Graphics Press.
- Tufte, E. R. und Graves-Morris, P. (1983) *The Visual Display of Quantitative Information*. Ceshire: Graphics Press.
- Ware, C. (1988) «Color Sequences for Univariate Maps: Theory, Experiments, and Principles», *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(5), S. 41–49.
- Ware, C. (2013) *Information Visualization: Preception of Design*. 3th ed. Morgan Kaufmann.
- White, T. M., Slocum, T. A. und McDermott, D. (2017) «Trends and Issues in the Use of Quantitative Color Schemes in Refereed Journals», *Annals of the American Association of Geographers*, 107(4), S. 829–848.
- Wilkening, J. und Fabrikant, S. (2011) «How do decision time and realism affect map-based decision making?», in *M. Egenhofer, N. Giudice, R. Moratz, & M. Worboys (Eds.), Spatial Information Theory*. vol. 6899. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Zahner, M. (2015) *How will it look like?* Masterarbeit, Universität Zürich.

9 Anhang

Visuelle Variablen

	Punkt	Linie	Areal	2.5 D	3 D	
Textur						Quantitative Phänomene
Grösse						
Perspektive Höhe					nicht möglich	
Farbton						
Farbhelligkeit						
Farbsättigung						
Orientierung				None Recommended		Qualitative Phänomene
Form				None Recommended		
Anordnung				None Recommended		
Farbton				None Recommended		

(Quelle: angepasste Darstellung aus Zahner (2015) und Slocum u.a. (2009))

Resultate Aufgabe 1

S = spektrale Farbskala, BWR = divergierende Farbskala, B = sequentielle Farbskala, RG = Schwarzkörperstrahlung-Farbskala), M=Mittelwert, SE=Standardfehler, 1 steht für Aufgabe 1, 2 für Aufgabe 2, 3 für Aufgabe 3, a: Antwort, v: Variabilität der Antwort, s: Antwortzeit, k: Korrektheit der Antwort, VD_E: mittlere Zeit pro Betrachtung der Hirnkarte, VD_L: mittlere Zeit pro Betrachtung der Legende, tr_VD_E: Anteil der Betrachtungszeit der Hirnkarte der an der Gesamtbetrachtungszeit tr_VD_L: Anteil der Betrachtungszeit der Legende der an der Gesamtbetrachtungszeit, cVD_E: Anzahl Betrachtungen der Hirnkarte, cVD_L: Anzahl Betrachtungen der Legende

	Laien		Experten		Gesamt	
	M	SE	M	SE	M	SE
1a_B	5,500	0,387	4,933	0,411	5,257	0,283
1a_S	6,400	0,421	6,433	0,444	6,414	0,302
1a_BWR	5,975	0,461	6,067	0,530	6,014	0,343
1a_RG	5,925	0,337	5,433	0,565	5,714	0,307
1v_B	2,103	0,185	1,726	0,199	1,941	0,138
1v_S	1,647	0,274	1,309	0,289	1,502	0,199
1v_BWR	2,151	0,235	1,769	0,277	1,987	0,180
1v_RG	1,941	0,138	2,047	0,281	1,986	0,142
1s_B	22,625	1,718	21,967	1,558	22,343	1,172
1s_S	20,100	1,739	21,533	2,313	20,714	1,387
1s_BWR	19,750	1,600	20,567	2,995	20,100	1,551
1s_RG	23,900	2,396	20,033	2,309	22,243	1,698
1_B_VD_E	0,498	0,028	0,750	0,087	0,606	0,045
1_S_VD_E	0,517	0,031	0,725	0,110	0,606	0,053
1_BWR_VD_E	0,602	0,040	0,785	0,138	0,680	0,064
1_RG_VD_E	0,498	0,040	0,671	0,076	0,572	0,042
1_B_VD_R	0,470	0,036	0,504	0,048	0,484	0,029
1_S_VD_R	0,559	0,028	0,504	0,042	0,535	0,024
1_BWR_VD_R	0,499	0,032	0,597	0,038	0,541	0,025
1_RG_VD_R	0,466	0,030	0,570	0,044	0,511	0,027
1_B_trVD_E	0,222	0,017	0,291	0,037	0,252	0,019
1_S_trVD_E	0,220	0,019	0,285	0,029	0,247	0,017
1_BWR_trVD_E	0,258	0,020	0,305	0,033	0,278	0,018
1_RG_trVD_E	0,196	0,020	0,293	0,025	0,238	0,018
1_B_trVD_R	0,108	0,017	0,083	0,010	0,097	0,011
1_S_trVD_R	0,127	0,009	0,099	0,015	0,115	0,008
1_BWR_trVD_R	0,110	0,014	0,117	0,014	0,113	0,010
1_RG_trVD_R	0,095	0,009	0,130	0,016	0,110	0,009
1_B_cVD_E	9,550	0,907	8,033	0,755	8,900	0,617
1_S_cVD_E	8,250	0,852	8,500	0,922	8,357	0,618
1_BWR_cVD_E	8,125	0,654	8,233	1,114	8,171	0,596
1_RG_cVD_E	8,650	0,900	8,800	1,067	8,714	0,678
1_B_cVD_R	4,600	0,483	3,767	0,536	4,243	0,361
1_S_cVD_R	4,550	0,451	4,100	0,598	4,357	0,360
1_BWR_cVD_R	4,100	0,411	4,033	0,559	4,071	0,331
1_RG_cVD_R	5,100	0,959	4,767	0,799	4,957	0,638

Resultate Aufgabe 2

	Laien		Experten		Gesamt	
	M	SE	M	SE	M	SE
2v_B	0,604	0,090	0,484	0,050	0,553	0,056
2v_S	0,396	0,046	0,435	0,063	0,413	0,037
2v_BWR	0,580	0,105	0,390	0,036	0,499	0,063
2v_RG	0,561	0,066	0,432	0,030	0,506	0,041
2k_B	2,400	0,111	2,547	0,077	2,463	0,071
2k_S	2,670	0,060	2,573	0,067	2,629	0,045
2k_BWR	2,480	0,101	2,627	0,047	2,543	0,062
2k_RG	2,520	0,069	2,613	0,041	2,560	0,043
2s_B	17,720	1,376	17,973	2,461	17,829	1,294
2s_S	16,830	1,560	17,320	1,734	17,040	1,144
2s_BWR	17,210	1,190	16,507	1,126	16,909	0,824
2s_RG	17,380	1,127	18,480	1,659	17,851	0,949

2_B_VD_E	0,527	0,033	0,711	0,084	0,606	0,043
2_S_VD_E	0,562	0,042	0,716	0,058	0,628	0,037
2_BWR_VD_E	0,579	0,045	0,722	0,074	0,641	0,042
2_RG_VD_E	0,516	0,037	0,647	0,079	0,572	0,041
2_B_VD_R	0,433	0,025	0,415	0,023	0,426	0,017
2_S_VD_R	0,477	0,029	0,451	0,025	0,466	0,020
2_BWR_VD_R	0,403	0,023	0,384	0,031	0,395	0,018
2_RG_VD_R	0,447	0,023	0,463	0,041	0,454	0,022
2_B_trVD_E	0,219	0,022	0,330	0,038	0,267	0,022
2_S_trVD_E	0,261	0,029	0,337	0,031	0,293	0,022
2_BWR_trVD_E	0,268	0,022	0,319	0,031	0,290	0,019
2_RG_trVD_E	0,223	0,028	0,298	0,032	0,255	0,022
2_B_trVD_R	0,085	0,010	0,087	0,010	0,086	0,007
2_S_trVD_R	0,087	0,014	0,097	0,009	0,091	0,009
2_BWR_trVD_R	0,079	0,009	0,075	0,009	0,077	0,006
2_RG_trVD_R	0,089	0,014	0,094	0,011	0,091	0,009
2_B_cVD_E	7,070	0,682	7,827	0,845	7,394	0,528
2_S_cVD_E	7,080	0,591	7,800	0,642	7,389	0,434
2_BWR_cVD_E	7,530	0,502	7,347	0,555	7,451	0,367
2_RG_cVD_E	6,860	0,591	8,320	0,827	7,486	0,498
2_B_cVD_R	3,340	0,437	3,173	0,505	3,269	0,326
2_S_cVD_R	3,020	0,431	3,560	0,400	3,251	0,300
2_BWR_cVD_R	3,300	0,406	3,027	0,331	3,183	0,269
2_RG_cVD_R	3,240	0,344	3,707	0,435	3,440	0,269

Resultate Aufgabe 3

	Laien		Experten		Gesamt	
	M	SE	M	SE	M	SE
3v_B	5,305	0,407	5,562	0,552	5,415	0,327
3v_S	2,981	0,246	2,571	0,398	2,805	0,220
3v_BWR	1,652	0,243	1,670	0,363	1,660	0,205
3v_RG	5,124	0,432	5,594	0,797	5,325	0,416
3k_B	0,975	0,025	0,933	0,045	0,957	0,024
3k_S	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
3k_BWR	0,975	0,025	0,967	0,033	0,971	0,020
3k_RG	0,950	0,034	0,967	0,033	0,957	0,024
3s_B	31,450	1,746	35,100	2,487	33,014	1,470
3s_S	32,150	1,628	31,033	1,825	31,671	1,201
3s_BWR	27,825	1,290	28,733	1,507	28,214	0,968
3s_RG	32,150	1,644	30,500	1,577	31,443	1,150

3_B_VD_E	1,013	0,061	1,100	0,060	1,050	0,043
3_S_VD_E	0,974	0,064	1,014	0,042	0,991	0,040
3_BWR_VD_E	0,901	0,051	0,921	0,040	0,910	0,033
3_RG_VD_E	1,018	0,050	1,075	0,059	1,042	0,038
3_B_VD_R	0,798	0,048	0,866	0,057	0,827	0,036
3_S_VD_R	0,959	0,047	0,997	0,060	0,975	0,037
3_BWR_VD_R	0,880	0,039	0,996	0,063	0,929	0,036
3_RG_VD_R	0,862	0,050	0,989	0,053	0,916	0,037
3_B_trVD_E	0,409	0,038	0,516	0,049	0,455	0,031
3_S_trVD_E	0,406	0,044	0,359	0,027	0,386	0,028
3_BWR_trVD_E	0,351	0,029	0,393	0,031	0,369	0,021
3_RG_trVD_E	0,417	0,032	0,384	0,035	0,403	0,024
3_B_trVD_R	0,202	0,022	0,278	0,031	0,235	0,019
3_S_trVD_R	0,280	0,025	0,245	0,022	0,265	0,017
3_BWR_trVD_R	0,228	0,022	0,283	0,025	0,252	0,017
3_RG_trVD_R	0,250	0,023	0,236	0,025	0,244	0,017
3_B_cVD_E	13,350	0,803	13,767	1,089	13,529	0,645
3_S_cVD_E	12,000	0,631	11,433	0,746	11,757	0,477
3_BWR_cVD_E	11,300	0,569	11,367	0,902	11,329	0,497
3_RG_cVD_E	12,300	0,702	11,400	0,828	11,914	0,533
3_B_cVD_R	8,425	0,656	9,267	0,826	8,786	0,513
3_S_cVD_R	8,625	0,504	7,967	0,663	8,343	0,402
3_BWR_cVD_R	7,275	0,395	7,467	0,454	7,357	0,294
3_RG_cVD_R	8,675	0,513	7,500	0,590	8,171	0,394

Ablauf Studie

1. Teilnahmenummer verteilen (L für Laien, E für Experten)
2. Testperson bitten, Handy auszuschalten
3. PC angeschaltet, Eye-Tracking an, Hauptfragebogen offen
4. Begrüssung, kurze Unterhaltung
5. Beschreibung der Studie geben:
Wie du vielleicht bereits erfahren hast, geht es in der Studie darum, kartographische Designprinzipien in den Neurowissenschaften. Alle Informationen findest du in der Einwilligungserklärung. Sofern du mit dieser einverstanden bist, starten wir mit einem kleinen Vorfragebogen. Anschliessend wirst du am Computer einige Fragen zu Bildern beantworten. Die Studie dauert ca. 30 Minuten. Versuche während der Befragung am Computer, möglichst ruhig zu sitzen.
6. Consent Form abgeben
7. Zettel an Türe umdrehen
8. Licht checken
9. Vorfragebogen abgeben
10. TOBII: Connect to Eyetracker
11. ID angeben
12. Kalibration
13. ID angeben
14. Hauptexperiment
15. Frage 10 abgeben sowie Kopie der Einwilligungserklärung
16. Bedanken und Kuchen geben

Universität Zürich – Teilnehmerinformation und Einwilligungsförmular
Empirische Analyse kartographischer Designprinzipien
Mai 2017
Teilnehmer-Nr.:

Zweck der Studie

Sie sind eingeladen, an einer Studie über die Nutzung von Farben in der funktionellen Bildgebung teilzunehmen. Diese Studie wird sowohl von Experten wie auch von Laien im Bereich der neurologischen Bildinterpretation durchgeführt. Dieses Experiment wird von Masterstudentin Isabel Blatter im Zusammenhang mit ihrer Masterarbeit «Empirische Analyse kartographischer Designprinzipien» ausgeführt. Die Masterarbeit wird von Prof. Dr. Sara Fabrikant am Geographischen Institut der Universität Zürich geleitet.

Ablauf der Studie und damit verbundene mögliche Risiken

Falls Sie sich entscheiden an der Studie teilzunehmen, werden Sie gebeten, vorab einige allgemeine Angaben zu Ihrer Person zu machen. Anschliessend werden Sie gebeten, einige Fragen zu neurologischen Bildern (PET-Hirnbilder) am Computer zu beantworten. Während dieser Zeit werden Ihre Augenbewegungen aufgezeichnet. Das ist für Sie völlig schmerzfrei und ungefährlich. Es werden insgesamt folgende Daten anonymisiert registriert: Antworten zu den gestellten Fragen und des Fragebogens, die Antwortzeiten, Ihre Augenbewegungen sowie eine audiovisuelle Aufnahme des Experiments. Das Experiment findet im Raum 25-L-9 («Eye Movement Lab») des Geographischen Instituts an der Universität Zürich statt. Er dauert ungefähr 30 Minuten und beinhaltet keinerlei Risiken für Sie.

Vertraulichkeit der Daten

Jegliche Information, die während der Studie in Verbindung mit Ihnen gebracht werden kann, wird vertraulich behandelt und nur mit Ihrer ausdrücklichen Erlaubnis an Dritte weitergegeben. Mit Ihrer Unterschrift erlauben Sie uns, die (anonymisierten) Ergebnisse des Experiments mehrmals zu publizieren. Dabei werden keinerlei Informationen veröffentlicht, die es ermöglichen, Sie zu identifizieren.

Entschädigung

Für die Teilnahme an der Studie bieten wir keine Entschädigung an. Kosten, die Ihnen für die Teilnahme an der Studie entstehen sollten, können leider nicht erstattet werden.

Bekanntgabe der Ergebnisse

Wenn Sie über die Ergebnisse der Studie auf dem Laufenden gehalten werden möchten, bitten wir Sie, der Versuchsleiterin Ihre Anschrift zu hinterlassen. Eine Kopie von zukünftigen Publikation(en) wird Ihnen daraufhin zugestellt.

Einwilligung

Ihre Entscheidung, an der Studie teilzunehmen oder nicht, wird zukünftige Beziehungen mit der Universität Zürich nicht beeinträchtigen. Entscheiden Sie sich dafür, an der Studie teilzunehmen, steht es Ihnen jederzeit frei, die Teilnahme ohne Begründung abzubrechen. Sollten Sie Fragen haben, zögern Sie bitte nicht, uns diese zu stellen. Sollten zu einem späteren Zeitpunkt Fragen aufkommen, wird Prof. Dr. Sara I. Fabrikant (044 635 51 50, sara@geo.uzh.ch) oder Isabel Blatter (079 602 68 56, isa.blatter@gmail.com), diese gerne beantworten.

Sie erhalten eine Kopie dieses Dokuments.

Mit Ihrer Unterschrift bestätigen Sie, obenstehende Informationen gelesen und verstanden zu haben und willigen ein, unter den dort beschriebenen Bedingungen am Experiment teilzunehmen.

Unterschrift des Teilnehmers

Unterschrift der Experimentleiterin

Vor- und Nachname in Blockschrift

Vor- und Nachname in Blockschrift

Ort/Datum: _____

.....

Widerruf der Einwilligung

Hiermit möchte ich meine Einwilligung, an der oben beschriebenen Studie teilzunehmen, widerrufen.

Unterschrift des Teilnehmers

Vor- und Nachname in Blockschrift

Ort/Datum: _____

1. Geschlecht

- Männlich
- Weiblich

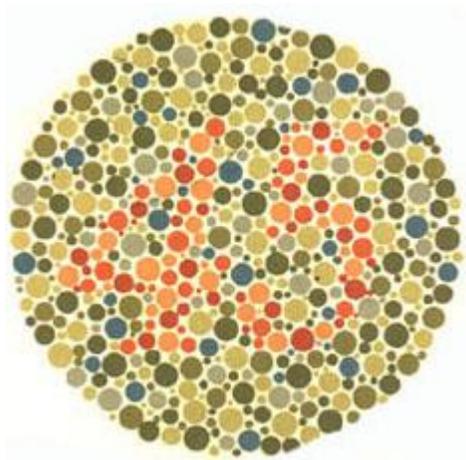
2. Alter

3. Ausbildung / Beruf

4. Bitte geben Sie an, ob Sie irgendeiner Art visueller Beeinträchtigung leiden:

- Schwache Rot-Grün Sehschwäche
- Starke Rot-Grün Sehschwäche
- Gelb-Blau Sehschwäche
- Komplette Farbenblindheit
- Keine Beeinträchtigung

5. Geben Sie an, welche Zahl sie in der folgenden Abbildung sehen:



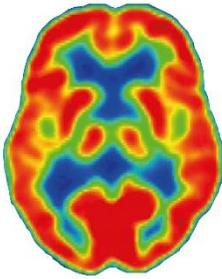
6. Geben Sie bitte an, ob Sie zur Zeit eine Brille oder Kontaktlinsen tragen:

- Brille
- Kontaktlinsen
- Nichts von beidem

7. Bitte kreuzen Sie die Aussage an, welche am meisten bei Ihnen zutrifft:

- Ich habe eine Ausbildung im Bereich der Neurowissenschaften und/oder ich arbeite oder arbeitete im Bereich der Neurowissenschaft, Neurologie oder Ähnlichem oder arbeite mit Daten (z.B. funktionelle Bildgebung) aus diesem Bereich (z.B. wissenschaftlicher Journalist).
- Ich habe vertiefte Kenntnisse im Bereich Kartographie, Geovisualisierung oder ähnlichen Bereichen und/oder arbeite oder arbeitete professionell mit geographischen Daten (z.B. GIS oder Karten).
- Ich habe keine oder nur geringe Erfahrung oder Berührungspunkte in einem der oben genannten Bereiche.

8. Im unteren Bereich sehen Sie ein Bild, welches mit Hilfe der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erstellt wurde. Haben Sie einen Bezug zur Herstellung solcher Bilder? Bitte geben Sie alle untenstehenden Aussagen an, welche bei Ihnen zutreffen:

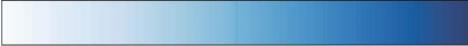


- Ich stelle solche Bilder her.
- Ich arbeite mit Experten / Institutionen zusammen, welche solche Bilder herstellen.
- Solche Bilder verwende ich als Inspiration für die Darstellung von Daten in meiner eigenen Fachrichtung.
- Ich sehe solche Bilder häufig (z.B. in wissenschaftlichen Zeitschriften, Internet).
- Ich verfüge über grundlegende Kenntnisse, wie Methoden der funktionellen Bildgebung (z.B. MRI, fMRI, PET etc.) funktionieren.
- Ich habe bereits an wissenschaftlichen Experimenten zur funktionellen Bildgebung teilgenommen.
- Ich habe keinerlei Bezug zu solchen Bildern.

9. Man kann die Aktivität von Nervenzellen im Gehirn mittels funktioneller Bildgebung darstellen. Stellen Sie sich vor, Sie müssten für die Darstellung von Daten über die Aktivität eines Gehirns ein Farbschema wählen. Farben ganz links vom Schema würden Regionen im Gehirn schwacher Aktivität, Farben ganz rechts Regionen mit starker Aktivität darstellen. Welches der nachfolgenden Schemen würden Sie wählen?

-
-
-
-

10. Man kann die Aktivität von Nervenzellen im Gehirn mittels funktioneller Bildgebung darstellen. Stellen Sie sich vor, Sie müssten für die Darstellung von Daten über die Aktivität eines Gehirns ein Farbschema wählen. Farben ganz links vom Schema würden Regionen im Gehirn schwacher Aktivität, Farben ganz rechts Regionen mit starker Aktivität darstellen. Welches der nachfolgenden Schemen würden Sie wählen?

- 
- 
- 
- 

Studie "kartographische Designprinzipien bei der Hirnkartierung"

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Dauer

30 min

Autorin

Isabel Blatter / Geographisches Institut Zürich / isabel.blatter@uzh.ch

Bitte geben Sie hier Ihre Teilnahme-Nr. ein

Während der Studie werden sie gebeten, Bilder zu beurteilen, welche mit Hilfe der Messung von Hirnaktivität erstellt wurden.

Vorab möchten wir Ihre Meinung zum folgenden Thema wissen:

«Das Stadium des Hirntodes stimmt überein mit dem Tod des Menschen.»

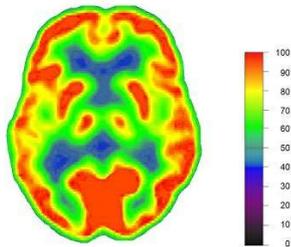
- Ich stimme vollkommen zu, eine hirntote Person ist tot.
- Ich stimme teilweise zu, eine hirntote Person ist wahrscheinlich tot.
- Ich stimme tendenziell nicht zu, eine hirntote Person ist wahrscheinlich nicht tot.
- Ich stimme vollkommen nicht zu, eine hirntote Person ist nicht tot.
- Ich habe keine Meinung dazu.

Bitte lesen Sie den folgenden Text genau durch, bevor Sie die Fragen beantworten:

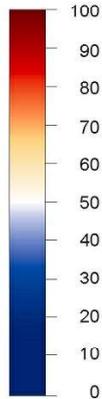
Im unteren Bereich sehen Sie ein Bild, welches mit Hilfe der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erstellt wurde. Bei dieser Tomographie wird einer Person radioaktive Glukose in die Blutbahn injiziert (die radioaktive Dosis ist sehr tief und darum harmlos). Das Gehirn benötigt Glukose. Je mehr Glukose vom Gehirn verbraucht wird, desto aktiver ist die entsprechende Hirnregion. PET misst daher den Verbrauch an radioaktiver Glukose in den verschiedenen Hirnregionen.

Die Farblegende auf der rechten Seite gibt an, wie viel Glukose verbraucht wird. Der tiefste Wert im unteren Bereich der Legende zeigt an, dass in der entsprechenden Hirnregion keine Glukose verbraucht wird. Der höchste Wert im oberen Bereich der Legende zeigt an, dass in der entsprechenden Hirnregion maximaler Glukoseverbrauch gemessen wird. Bestimmte Regionen im Gehirn (z.B. Ventrikel im Zentrum des Gehirns) sind mit Hirnwasser (ähnliche Zusammensetzung wie Wasser) gefüllt und haben natürlicherweise einen tieferen Glukoseverbrauch.

Auf der nächsten Seite folgen nun 8 Bilder. Betrachten Sie das jeweilige Bild und beurteilen Sie, inwiefern Sie der Aussage des Forschers oder der Forscherin zustimmen. Die Aussage wird jeweils oberhalb des Bildes stehen. Bitte verwenden Sie für Ihre Antwort die Antwortskala, welche Sie unterhalb des Bildes finden werden. Wenn Sie ganz links auswählen, stimmen Sie dem Forscher oder der Forscherin nicht zu. Wenn Sie ganz rechts auswählen, stimmen Sie dem Forscher oder der Forscherin zu. Wählen Sie daher bei den nächsten 8 Bildern aus, welche Auswahl ihrer Meinung nach die beste Repräsentation ihrer Zustimmung zur erwähnten Aussage angibt.

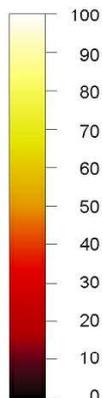
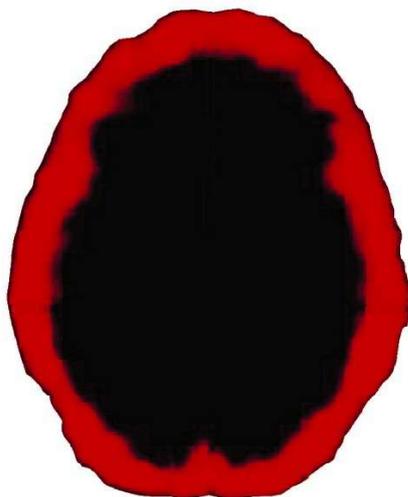


Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein **totes Gehirn** darstellt. Dementsprechend ist die Durchblutung des Gehirns unterbrochen sodass kein Sauerstoff mehr das Gehirn erreicht. Dies hat zur Folge, dass die Zellen im Gehirn keine Glukose mehr verbrauchen.



Ich stimme zu Ich stimme nicht zu

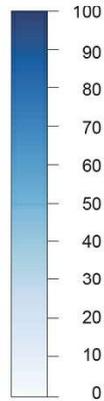
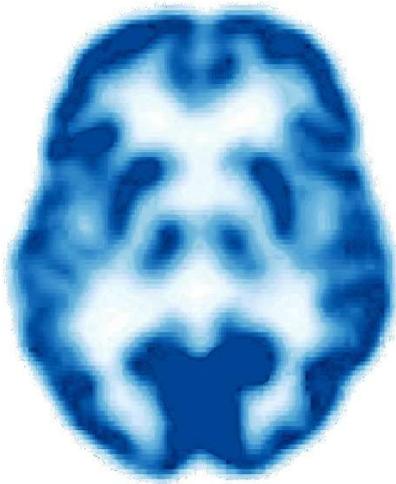
Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein **totes Gehirn** darstellt, Dementsprechend ist die Durchblutung des Gehirns unterbrochen sodass kein Sauerstoff mehr das Gehirn erreicht. Dies hat zur Folge, dass die Zellen im Gehirn keine Glukose mehr verbrauchen.



Ich stimme zu Ich stimme nicht zu

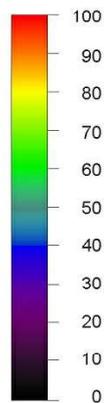
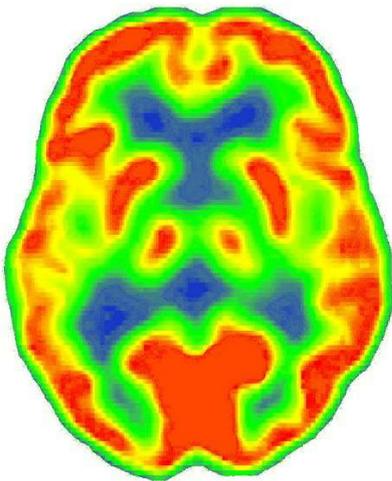
Zu Beginn haben Sie 8 Bilder gesehen, welche die Extremstadien bezüglich der Hirnaktivität repräsentiert haben. Die Bilder haben zum einen ein Gehirn einer Person mit normalem Bewusstsein gezeigt, zum anderen aber auch einer Person mit einem hirntoten Gehirn. Nun folgen 20 weitere PET-Bilder, welche sowohl diese beiden Stadien aber auch Stadien mit Aktivitätsmessungen zwischen den beiden Extremen zeigen, das heisst, Stadien mit neurologischen Problemen. Betrachten Sie die folgenden 20 Bilder und beurteilen Sie jeweils, in welchem Bewusstseinsstadium es sich befindet. Bitte verwenden Sie dafür die Antwortskala, welche sich unterhalb des Bildes befindet. Durch eine Auswahl ganz Links bekunden Sie die Meinung, das Bild zeige ein totes Gehirn. Eine Auswahl ganz Rechts bedeutet, dass Sie der Meinung sind, das Bild zeige ein gesundes Gehirn mit normalem Bewusstsein. Bitte wählen Sie jeweils, welche Auswahl Ihrer Meinung nach die beste Repräsentation des Bewusstseinsstadiums des Gehirns zeigt.

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.



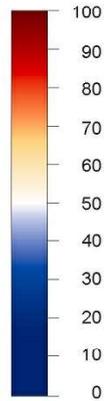
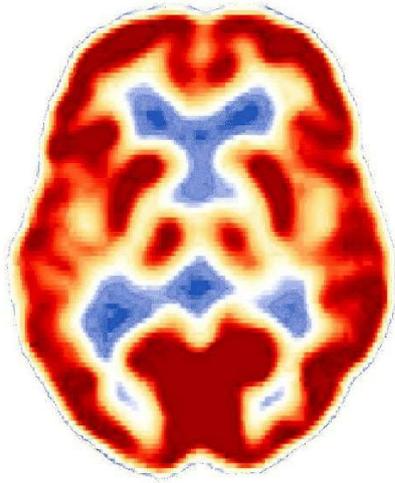
totes Gehirn normales Gehirn

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.



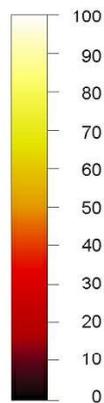
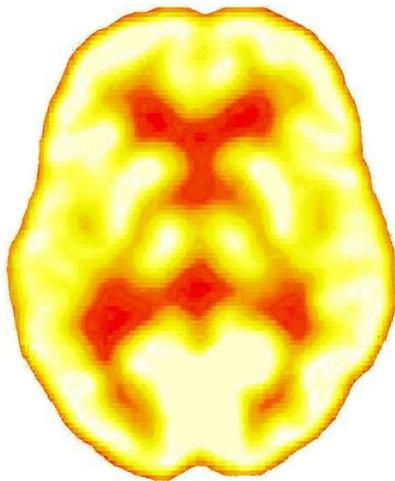
totes Gehirn normales Gehirn

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.



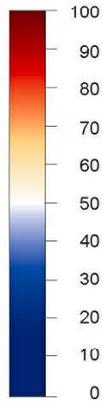
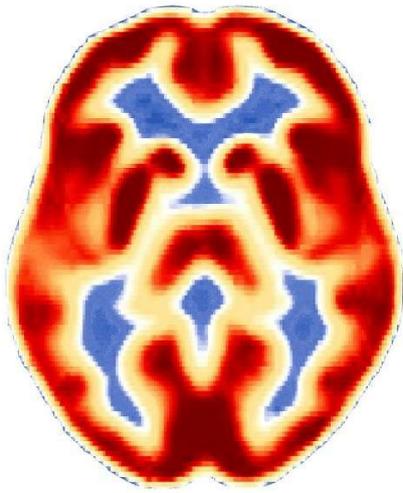
totes Gehirn normales Gehirn

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn einer Person mit **normalem Bewusstsein** darstellt. Das heisst, eine Person ohne neurologische Probleme.



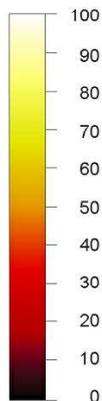
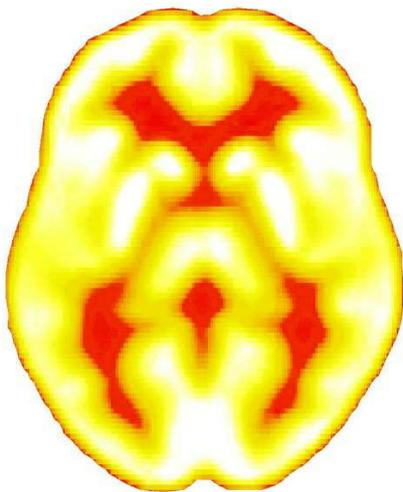
totes Gehirn normales Gehirn

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **Stadium „Locked-in“** befindet. Das heisst, eine Person hat mehr oder weniger normales Bewusstsein, aufgrund von neurologischen Problemen kann sich die Person jedoch nicht bewegen oder mit der Umwelt kommunizieren. Dieses Stadium zeigt eine reduzierte Hirnaktivität bei einer PET-Messung.



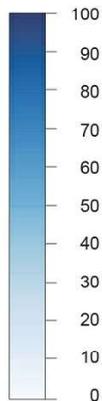
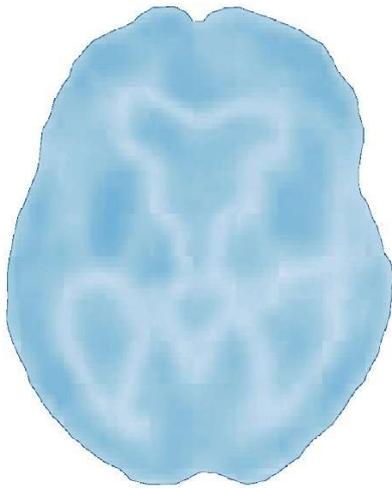
totales Gehirn normales Gehirn

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **Stadium „Locked-in“** befindet. Das heisst, eine Person hat mehr oder weniger normales Bewusstsein, aufgrund von neurologischen Problemen kann sich die Person jedoch nicht bewegen oder mit der Umwelt kommunizieren. Dieses Stadium zeigt eine reduzierte Hirnaktivität bei einer PET-Messung.



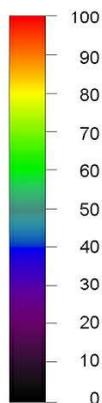
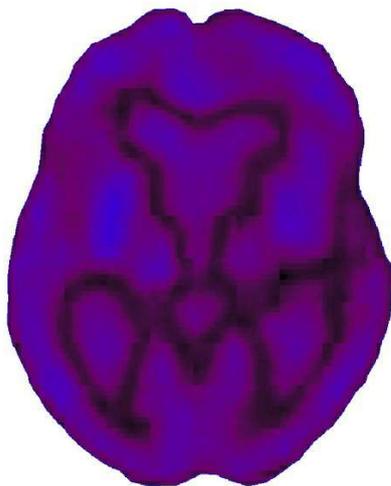
totales Gehirn normales Gehirn

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **vegetativen Stadium** befindet. Das heisst, die Person hat ein schwer beschädigtes Gehirn, welches zwar einen Wachzustand aufweist, jedoch ist kein Bewusstsein vorhanden. Die Person kann die Augen zeitweise öffnen und Wach-Schlaf-Zyklen aufweisen. Kognitive Fähigkeiten fehlen aber. Dieses Stadium zeigt reduzierte Hirnaktivität bei der PET-Messung.



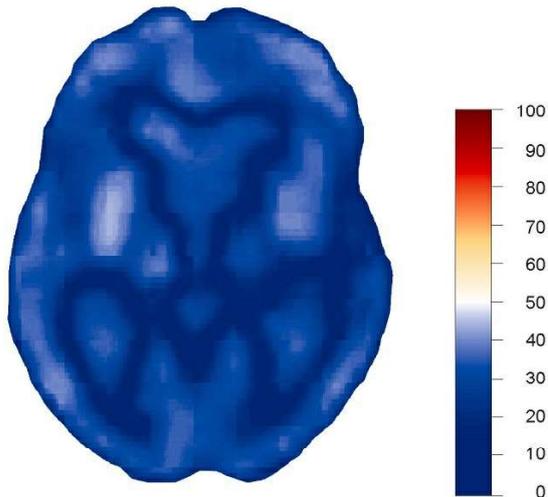
totales Gehirn normales Gehirn

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **vegetativen Stadium** befindet. Das heisst, die Person hat ein schwer beschädigtes Gehirn, welches zwar einen Wachzustand aufweist, jedoch ist kein Bewusstsein vorhanden. Die Person kann die Augen zeitweise öffnen und Wach-Schlaf-Zyklen aufweisen. Kognitive Fähigkeiten fehlen aber. Dieses Stadium zeigt reduzierte Hirnaktivität bei der PET-Messung.



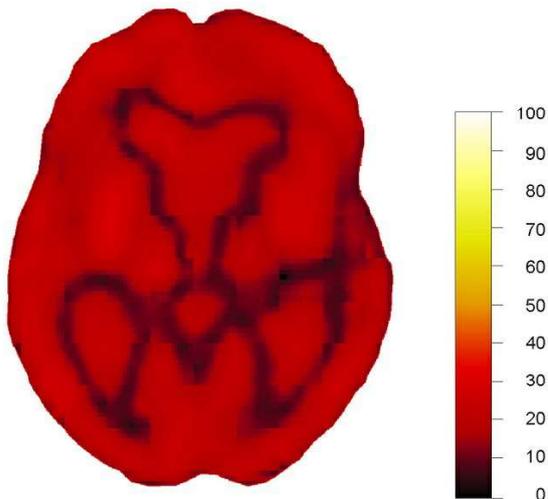
totales Gehirn normales Gehirn

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **vegetativen Stadium** befindet. Das heisst, die Person hat ein schwer beschädigtes Gehirn, welches zwar einen Wachzustand aufweist, jedoch ist kein Bewusstsein vorhanden. Die Person kann die Augen zeitweise öffnen und Wach-Schlaf-Zyklen aufweisen. Kognitive Fähigkeiten fehlen aber. Dieses Stadium zeigt reduzierte Hirnaktivität bei der PET-Messung.



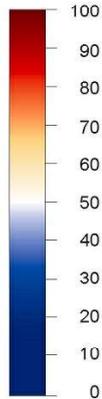
totales Gehirn normales Gehirn

Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein Gehirn zeigt, welches sich im **vegetativen Stadium** befindet. Das heisst, die Person hat ein schwer beschädigtes Gehirn, welches zwar einen Wachzustand aufweist, jedoch ist kein Bewusstsein vorhanden. Die Person kann die Augen zeitweise öffnen und Wach-Schlaf-Zyklen aufweisen. Kognitive Fähigkeiten fehlen aber. Dieses Stadium zeigt reduzierte Hirnaktivität bei der PET-Messung.



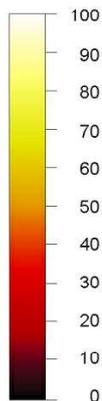
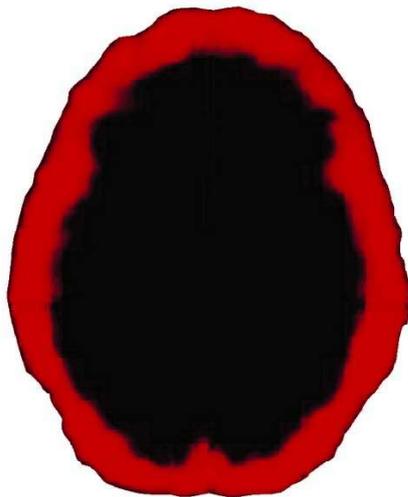
totales Gehirn normales Gehirn

Ein Forscher zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Er behauptet, dass das Bild ein **totes Gehirn** darstellt. Dementsprechend ist die Durchblutung des Gehirns unterbrochen sodass kein Sauerstoff mehr das Gehirn erreicht. Dies hat zur Folge, dass die Zellen im Gehirn keine Glukose mehr verbrauchen.



totes Gehirn normales Gehirn

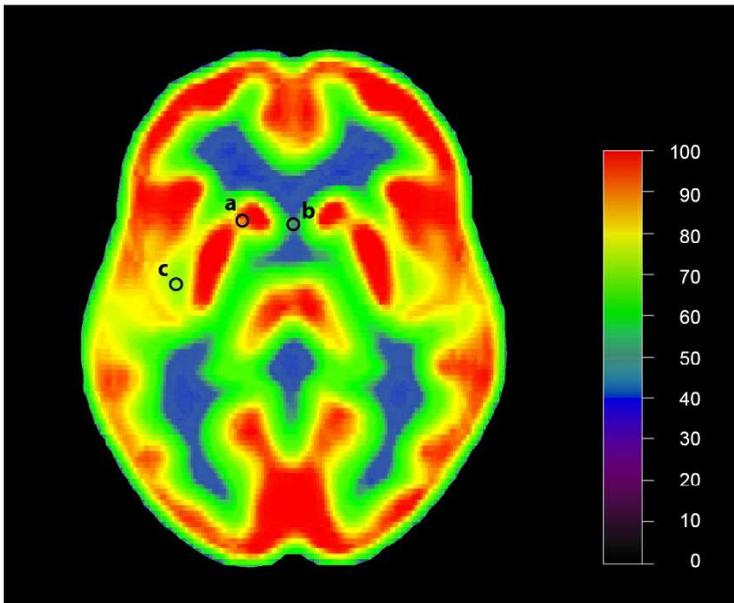
Eine Forscherin zeigt Ihnen das untenstehende Bild. Sie behauptet, dass das Bild ein **totes Gehirn** darstellt, Dementsprechend ist die Durchblutung des Gehirns unterbrochen sodass kein Sauerstoff mehr das Gehirn erreicht. Dies hat zur Folge, dass die Zellen im Gehirn keine Glukose mehr verbrauchen.



totes Gehirn normales Gehirn

Hiermit beginnt der 3. Teil des Experiments. In diesem Teil erhalten Sie PET-Bilder, in welchen 3 bestimmte Bereiche mit einem Kreis markiert sind. Betrachten Sie jeweils das Bild und die gekennzeichneten Bereiche und bestimmen Sie die in diesem markierten Bereich dargestellte Aktivität mit Hilfe der Legende rechts. Bitte tragen Sie anschließend die Werte im Drop-Down Menü unterhalb des Bildes ein.

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

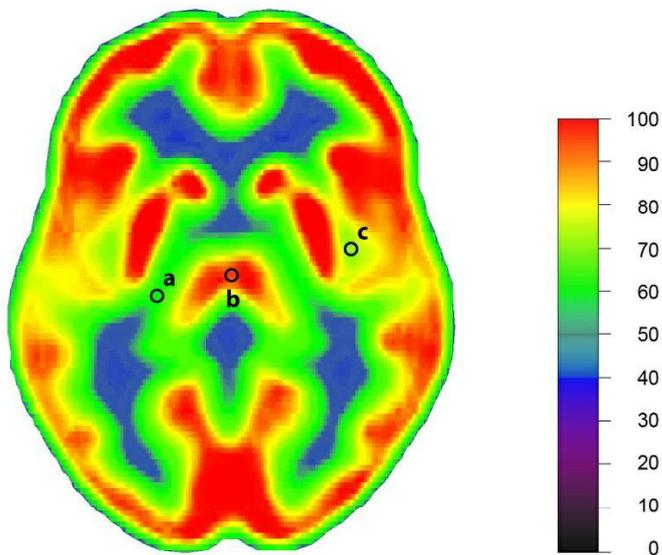


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

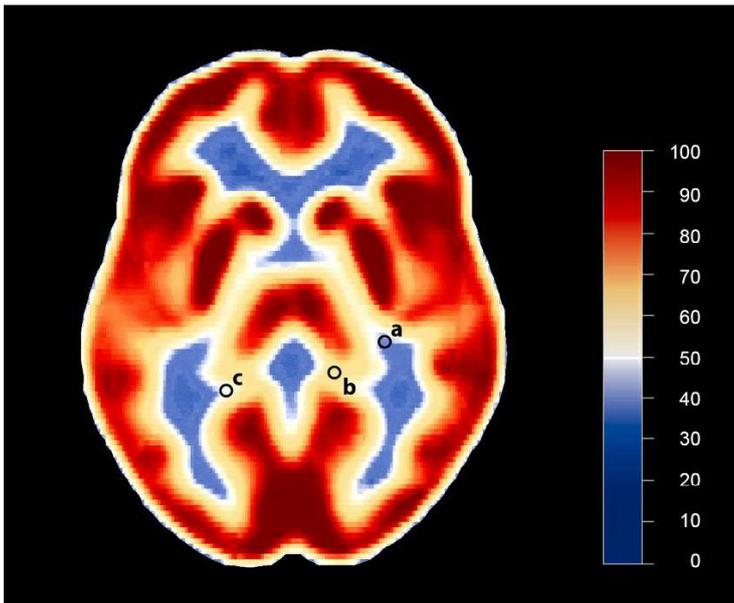


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

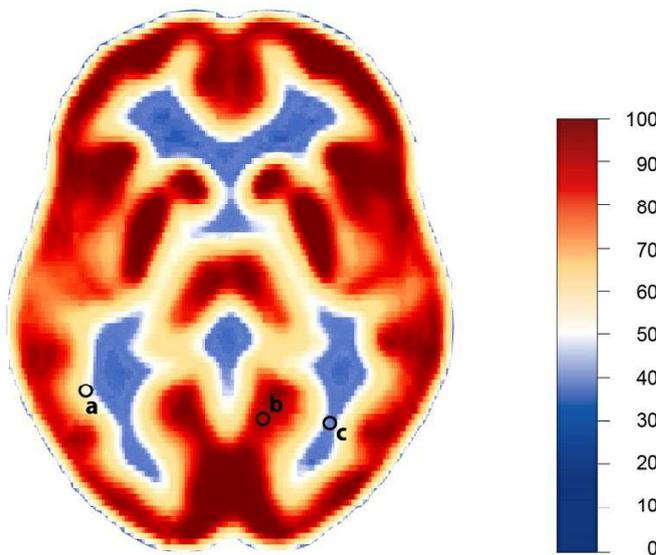


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

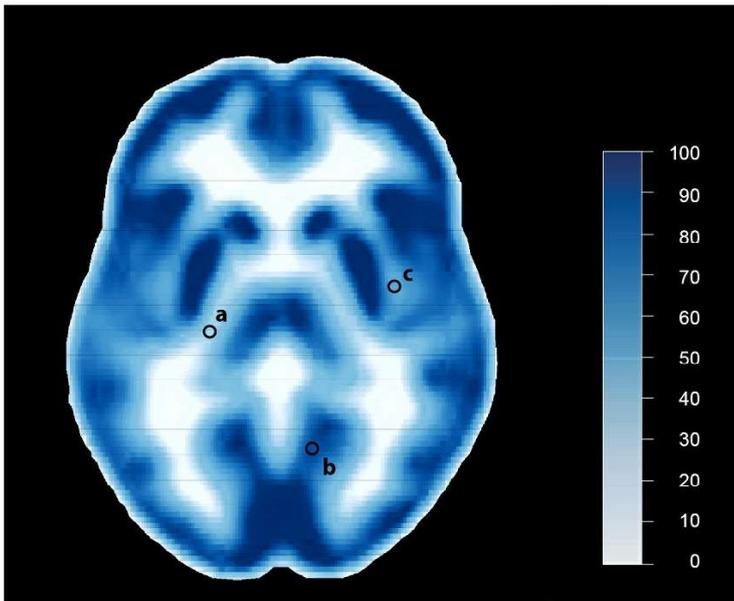


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

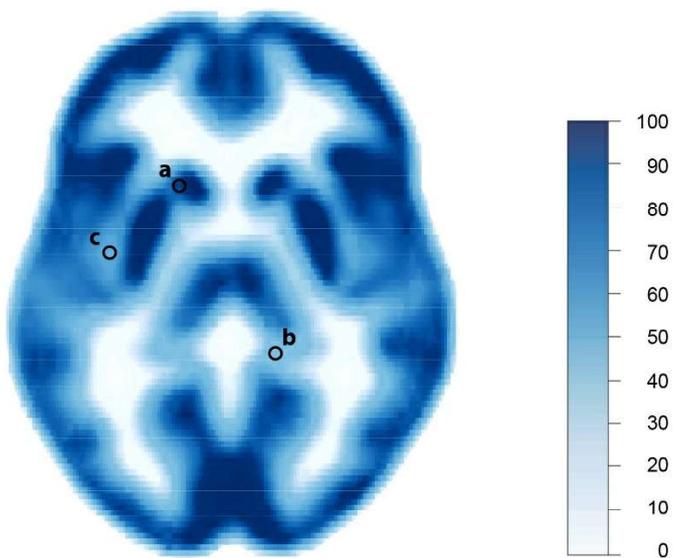


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

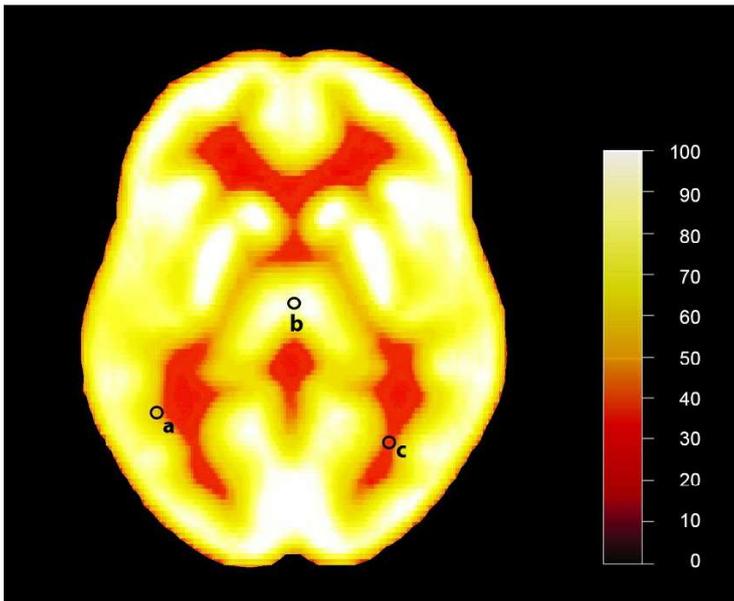


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.

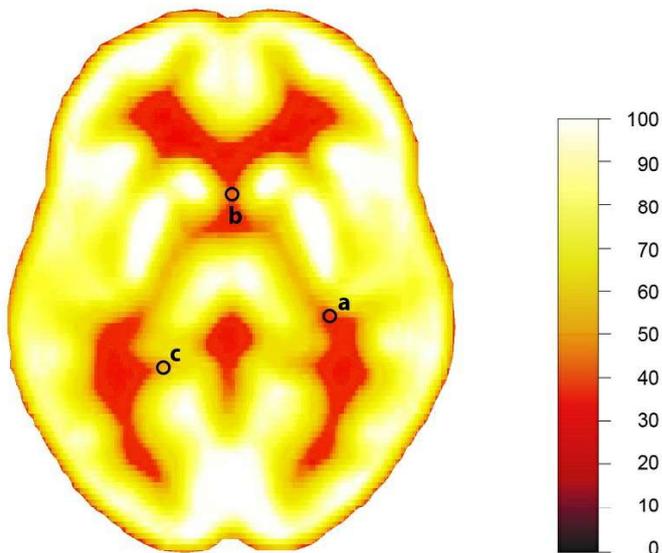


a

b

c

Bitte geben Sie die Aktivität des jeweiligen Bereichs innerhalb des Kreises im Drop-Down Menü ein.



a

b

c

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Studie "kartographische Designprinzipien bei der Hirnkartierung"

Autorin

Persönliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Isabel Blatter
Hallerstrasse 53
3012 Bern
10-924-678
isa.blatter@gmail.com