



**Universität
Zürich^{UZH}**

Geographisches Institut

Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf die Leistung und den Prozess der Entscheidungsfindung mithilfe von Gefahrenkarten

GEO 511 Masterarbeit

Eingereicht durch

Isabella Kübler

11-733-581

Betreut durch

Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant (Fakultätsmitglied)

Dr. Kai-Florian Richter (Dept. of Computing Science, Umea University, Schweden)

30.09.2016

Geographisches Institut, Universität Zürich

Zusammenfassung

Räumliche Daten werden immer häufiger als Hilfsmittel bei komplexen Entscheidungen angewendet. Wie viele andere Daten sind auch räumliche Daten mit Unsicherheit behaftet. Deshalb sind immer mehr Forscher der Meinung, dass die Unsicherheit von geographischen Daten auf Karten visualisiert werden soll, um bessere Entscheidungen treffen zu können. Eine Entscheidung zu treffen, ohne die Unsicherheit zu berücksichtigen, kann in gewissen Bereichen (z.B. Einschätzung von Naturgefahren) zu schwerwiegende Konsequenzen führen. Somit stellen sich folgende zwei Fragen: Unterscheidet sich die Leistung einer Entscheidung bei Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und bei Karten mit Visualisierung der Unsicherheit? Unterscheidet sich der Prozess der Entscheidungsfindung ohne Visualisierung der Unsicherheit und mit Visualisierung der Unsicherheit?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Studie mit 35 Studenten des geographischen Instituts der Universität Zürich durchgeführt. Die Teilnehmenden der Studie mussten sich mithilfe von 16 Gefahrenkarten entscheiden, welches Haus sie gerne kaufen würden. Auf einer Gefahrenkarte wird das dargestellte Gebiet in drei Zonen aufgeteilt, welche die Wahrscheinlichkeit einer Naturkatastrophe angeben. Da die Schätzung der Ausdehnung dieser Zonen nicht immer eindeutig ist, wurden in 12 Karten die Grenzen zwischen den Gefahrenzonen als unsicher dargestellt. Um die Unsicherheit darzustellen wurden drei graphische Variablen eingesetzt: Farbhelligkeit, Verschwommenheit und Textur. In den restlichen vier Karten wurden die Grenzen als sicher visualisiert. Auf jeder Karte waren vier Häuser eingezeichnet. Für jedes Haus wurde auch eine kurze Beschreibung der Lage und des Kaufpreises angegeben. Die Probanden mussten sich aufgrund der Faktoren Gefahr, Lage und Preis für ein Haus entscheiden, welches sie gerne kaufen würden.

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass sich die Teilnehmenden bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit für andere Häuser entschieden haben als bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit. Das Ergebnis der Entscheidung hat sich also durch die Visualisierung der Unsicherheit verändert. Da die Testpersonen bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser in der höchsten Gefahrenzone gewählt haben, wird vermutet, dass die Darstellung der Unsicherheit zu einer anderen Wahrnehmung der Gefahr geführt hat. Die gilt vor allem für risikofreudige Teilnehmende. Die Teilnehmenden scheinen die Gefahr bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit unterschätzt zu haben. Dies wird durch die Tatsache bestätigt, dass bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit der Faktor Lage der wichtigste war, während bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit der wichtigste Faktor die Gefahr war. Bezüglich dem Prozess der Entscheidungsfindung erkennt man somit, dass sich zwischen den zwei Bedingungen die Wichtigkeit der Faktoren verändert hat. Aufgrund der Tatsache, dass die Teilnehmenden den Faktoren unterschiedliche Gewichte zugeteilt haben wird vermutet, dass sie entweder eine gewichtete additive Heuristik, eine attributweise Eliminationsregel oder eine Mischung der beiden angewendet haben.

Schlagwörter

Visualisierung der Unsicherheit, Ergebnis einer Entscheidung, Prozess der Entscheidungsfindung

Danksagung

Ich möchte mich vor allem bei meinen Betreuungspersonen Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant und Dr. Kai-Florian Richter bedanken, welche mit ihren inspirierenden Diskussionen und konstruktiven Ideen mich bei der Umsetzung dieser Arbeit stets unterstützt haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei Dr. Arzu Cöltekin und Annina Brügger für die nützlichen Tipps zum Gebrauch des Eye Trackers bedanken.

Ein grosses Dankeschön geht auch an allen Teilnehmenden meiner Studie. Die meisten von ihnen haben mich nicht nur bei dieser Arbeit unterstützt, sondern haben das ganze Geographie Studium zu einem unvergesslichen Erlebnis gemacht.

Insbesondere möchte ich mich bei Patrice und Claudia für die motivierenden Worte und die Korrektur der Arbeit bedanken.

Vor allem möchte ich aber meiner Familie Lamberto, Elisabeth und Alessandra danken, welche mir nicht nur das Studium ermöglicht haben, sondern mich in allen Lebenssituationen unterstützen. Grazie mille!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Ziel der Arbeit.....	3
2. Forschungskontext	5
2.1. Definition der Unsicherheit.....	5
2.2. Quellen der Unsicherheit	7
2.3. Kommunikation von Unsicherheit.....	8
2.4. Visualisierung der Unsicherheit.....	10
2.4.1. <i>Intrinsische / extrinsische Visualisierung der Unsicherheit</i>	<i>12</i>
2.4.2. <i>Visuell integrale / visuell trennbare Visualisierung der Unsicherheit.....</i>	<i>18</i>
2.4.3. <i>Bivariate / univariate Karte für die Visualisierung der Unsicherheit.....</i>	<i>20</i>
2.4.4. <i>Visualisierung der Unsicherheit mit Animation.....</i>	<i>22</i>
2.5. Verlauf einer generischen Entscheidung unter Unsicherheit.....	24
2.6. Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf Entscheidungen.....	28
2.6.1. <i>Einfluss auf die Entscheidungsleistung.....</i>	<i>29</i>
2.6.2. <i>Einfluss auf den Prozess der Entscheidungsfindung.....</i>	<i>37</i>
2.6.3. <i>Einfluss auf die Risikowahrnehmung</i>	<i>42</i>
2.6.4. <i>Einfluss der Erfahrung bei Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit.....</i>	<i>43</i>
2.7. Eingliederung dieser Arbeit in den Forschungskontext.....	44
3. Methodik	47
3.1. Forschungsfragen	47
3.2. Teilnehmende	48
3.3. Struktur der Studie	49
3.4. Vortests.....	49
3.4.1. <i>Persönlichkeitsfragebogen</i>	<i>50</i>
3.4.2. <i>Fragebogen zur Risikoeinstellung</i>	<i>50</i>
3.4.3. <i>Fragebogen zur räumlichen Strategie</i>	<i>54</i>
3.4.4. <i>Ablauf der Vortests</i>	<i>55</i>
3.5. Hauptexperiment.....	56
3.5.1. <i>Design der Studie.....</i>	<i>57</i>

3.5.2. <i>Materialien des Hauptexperiments</i>	58
3.5.3. <i>Ablauf des Hauptexperiments</i>	74
3.6. <i>Schlussfragen</i>	75
4. Resultate	77
4.1. <i>Vortests</i>	77
4.1.1. <i>Persönlichkeitsfragebogen</i>	77
4.1.2. <i>Test zur Risikoeinstellung</i>	78
4.1.3. <i>Fragebogen zur räumlichen Strategie</i>	79
4.2. <i>Hauptexperiment</i>	80
4.2.1. <i>Vorbereitung der Daten</i>	80
4.2.2. <i>Auswertung der Klassifikation</i>	81
4.2.3. <i>Vergleich durchschnittliche Punktzahl zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit</i>	83
4.2.4. <i>Vergleich durchschnittliche Punktzahl zwischen den einzelnen Darstellungsarten separat</i>	84
4.2.5. <i>Vergleich normalisierte Häufigkeit zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit</i>	85
4.2.6. <i>Vergleich normalisierte Häufigkeit zwischen den einzelnen Darstellungsarten separat</i>	86
4.2.7. <i>Einfluss der Unsicherheit auf die Attraktivität der Häuser</i>	87
4.2.8. <i>Vergleich Risikoeinstellungsgruppen</i>	90
4.2.9. <i>Vergleich der Gruppen mit hoher und tiefer räumlicher Fähigkeit</i>	93
4.2.10. <i>Zufälligkeit der Entscheidung</i>	95
4.2.11. <i>Vergleich der benötigten Zeit pro Visualisierung</i>	96
4.2.12. <i>Zeitvergleich der Reihenfolge</i>	101
4.2.13. <i>Binäre logistische Regression</i>	101
4.3. <i>Schlussfragen</i>	107
4.3.1. <i>Wichtigkeit der Faktoren bei der Entscheidung</i>	107
4.3.2. <i>Angewendete Strategie</i>	108
4.3.3. <i>Schwierigkeit der Hauptaufgabe</i>	109
4.3.4. <i>Interpretation der Visualisierungen</i>	109
4.3.5. <i>Eignung der Visualisierungsvarianten für die Darstellung von Unsicherheit</i>	110
4.3.6. <i>Kontrolle der Teilnehmenden</i>	110
5. Diskussion	113
5.1. <i>Haben die Teilnehmenden die Visualisierung der Unsicherheit verstanden?</i>	113
5.2. <i>Forschungsfrage 1: Hat die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte einen Einfluss auf die Leistung einer komplexen Entscheidung?</i>	114

5.2.1. Vergleich Indikator 1: Ergebnis der Entscheidung zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit.....	114
5.2.2. Vergleich Indikator 2: Benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit.....	120
5.3. Forschungsfrage 2: Unterscheidet sich die Leistung einer komplexen Entscheidung zwischen verschiedenen Visualisierungsarten der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte?	122
5.3.1. Verständnis der Darstellungen.....	122
5.3.2. Vergleich Indikator 1: Ergebnis der Entscheidung zwischen den drei Visualisierungsvarianten der Unsicherheit.....	125
5.3.3. Vergleich Indikator 2: Benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung zwischen den drei Visualisierungsvarianten der Unsicherheit	128
5.4. Forschungsfrage 3: Wie verläuft der Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit?.....	130
5.4.1. Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf die Attraktivität eines Hauses	130
5.4.2. Wahrnehmung der Gefahr	133
5.4.3. Zuweisung einer Heuristik	136
5.4.4. Diskussion der logistischen Regression	138
5.5. Kritische Betrachtung der Arbeit	140
6. Schlusswort und Ausblick	143
6.1. Schlusswort	143
6.2. Ausblick.....	147
7. Literatur	149
8. ANHANG	155
A. Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit	155
B. Einverständnisformular der Studie.....	157
C. Fragebogen zu den Vortests	159
D. Szenario des Hauptexperiments.....	169
E. Beispiel des Hauptexperiments	171
F. Hauptexperiment der Serie 1	171
G. Hauptexperiment der Serie 2	177
H. Hauptexperiment der Serie 3	182
I. Schlussfragen.....	188
J. E-Mail an Teilnehmenden	191
Persönliche Erklärung	192

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Visualisierungspipeline nach Pang (2008). Unsicherheit (U) kann bei den drei Schritten Aufnahme, Transformation und Visualisierung eindringen.....	7
Abbildung 2: Unsichere Grenze zwischen Kuwait und Irak (MacEachren, 1992).....	13
Abbildung 3: Sicheren vs. unsicheren Landbedeckungstyp (MacEachren, 1992).....	13
Abbildung 4: Karte des durch Ozon verursachten ökologischen Risikos. Die Isolinien geben den Risikoindex an, der Nebel mit verschiedener Dicke gibt die Unsicherheit an (MacEachren, 1992).....	14
Abbildung 5: Anordnung der Kontinente in der mittleren Kreidezeit. Die schlechte Auflösung der Küste deutet auf die unsichere Form der Kontinente hin (MacEachren, 1992).....	14
Abbildung 6: Graphische Variablen die auf ihr Verständnis für die Visualisierung von allgemeiner Unsicherheit getestet wurden (MacEachren et al., 2012).....	14
Abbildung 7: Beispiel der Aufgabe zum Verständnis der Symbole. In diesem Fall wurde die graphische Variable Form getestet (MacEachren et al., 2012).....	15
Abbildung 8: Methoden um die Unsicherheit einer Linie darzustellen. Von oben links im Uhrzeigersinn: Unschärfe, Farbelligkeit, Skizzenhaftigkeit und gestrichelte Linie (Boukhelifa et al, 2012).....	15
Abbildung 9: Beispiel Visualisierung der Unsicherheit mit Säulen (Cliburn et al., 2002).....	16
Abbildung 10: Klassifizierung der Vegetation. Die «noise annotation lines» stellen die Unsicherheit der Klassifikation dar. Je stärker das Rauschen, desto höher ist die Unsicherheit (Kinkeldey et al., 2014b)...	17
Abbildung 11: Linke Karte Temperaturentwicklung und deren Unsicherheit mit den zwei graphischen Variablen Farbton und Textur. Rechte Karte Temperaturentwicklung und deren Unsicherheit mit den zwei graphischen Variablen Farbton und Farbsättigung (Retchless & Brewer, 2016).....	19
Abbildung 12: Oben Links: durchschnittlicher Druck mit Farbton dargestellt, rechts: Unsicherheit des Drucks, ebenfalls mit Farbton dargestellt; unten: Bivariate Karte in welcher der Druck mit Farbton dargestellt ist und Unsicherheit mittels einer Kombination von Textur und Transparenz visualisiert ist (Viard et al., 2011).....	21
Abbildung 13: Statische Darstellung der Stadtentwicklung von Santa Barbara, Kalifornien, im Jahr 2050 (links) und die dazugehörige Unsicherheit (rechts) (Aerts et al., 2003).	23
Abbildung 14: Beispielkarte der Studie von Hope & Hunter (2007b). Die Farben stellen die Eignung des Gebiets als Flughafenstandort dar. Die Balken visualisieren die Sicherheit dieser Eignung pro Zone (Hope & Hunter, 2007b).....	30
Abbildung 15: Verschiedene Darstellungen der Unsicherheit der Ausdehnung eines Brandes (Cheong et al., 2016).....	31
Abbildung 16: Verschiedene Darstellungen für die unsichere Grenze zwischen den Zonen A und B: Limit (a), Skala (b), Wahrscheinlichkeit und Graduation (d) (Hope & Hunter, 2007a).....	35
Abbildung 17: Standardvisualisierung eines Orkanpfades von dem National Hurricane Center (NHC) (Ruginski et al., 2016).....	37
Abbildung 18: Alternative Darstellungen eines Orkanpfades (Ruginski et al., 2016).....	38

Abbildung 19: Vier verschiedene Darstellungen für die Visualisierung einer unsicheren Position in einer digitalen Karte (McKenzie et al., 2016).....	39
Abbildung 20: Beispielaufgabe der Studie von McKenzie et al. (2016). Das rote Kreuz stellt die tatsächliche Position des Smartphone Benutzenden dar. Die grossen blauen Kreise stellen die durch das Smartphone geschätzte Position dar (Mckenzie et al., 2016).....	40
Abbildung 21: verschiedene Darstellungen einer Tornado Warnung nach Ash et al. (2014). Links die Standarddarstellung, Mitte mit Farbton und rechts mit Farbhelligkeit (Ash et al., 2014)	42
Abbildung 22: Struktur der Studie	49
Abbildung 23: Spiel 1, Vortest zur Risikoeinstellung nach Holt & Laury (2002).....	51
Abbildung 24: Struktur des Hauptexperiments.....	58
Abbildung 25: Offizielle Gefahrenkarte für einen Ausschnitt der Stadt Locarno. Rechts befindet sich der See. Massstab: 1: 5'000. Quelle: http://www.sitmap.ti.ch/index.php?ct=pericolie	60
Abbildung 26: Matrix zur Ermittlung der Gefahrenstufen (eigene Darstellung nach Trau & Hurni, 2007)	61
Abbildung 27: Unterschiedliche Darstellungen der Gefahrenzonen. Gefahrenzonen ohne Unsicherheit (a), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Farbhelligkeit (b), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Verschwommenheit (c), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Textur (d).....	62
Abbildung 28: Gefahrenzonen ohne Visualisierung der Unsicherheit	62
Abbildung 29: Gefahrenzone mit Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit.....	63
Abbildung 30: Beispiel einer Gefahrenkarte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit	65
Abbildung 31: Beispiel einer Gefahrenkarte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Textur.....	66
Abbildung 32: Darstellung der vier Geometrien für die Karten ohne Unsicherheit: Horizontal (a), vertikal (b), verzweigt (c) und geteilt (d)	67
Abbildung 33: Ablauf der Kartenerstellung.....	73
Abbildung 34: Resultate der Frage bezüglich der Erfahrung in verschiedenen Sektoren. 1 steht für keine Erfahrung, 5 = für täglicher Gebrauch / professionell	77
Abbildung 35: Anzahl der Teilnehmenden für jede Klasse der Risikoeinstellung	78
Abbildung 36: Anzahl Teilnehmenden pro Punktzahlklasse zur räumlichen Strategie	79
Abbildung 37: Durchschnittliche Punktzahl der Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und der Karten mit Visualisierung der Unsicherheit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	83
Abbildung 38: Durchschnittliche Punktzahl für die einzelnen Visualisierungen (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	84
Abbildung 39: Durchschnitt der normalisierten Häufigkeiten der gewählten Haustypen. HT = Haustyp (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	85
Abbildung 40: Durchschnittliche normalisierte Häufigkeit der gewählten Haustypen pro Visualisierung (HT = Haustyp, Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	86

Abbildung 41: Häufigkeit über alle drei Visualisierungen der Unsicherheit mit der ein Haus in sicherer oder unsicherer Zone gewählt wurde (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	87
Abbildung 42: Häufigkeit der gewählten Häuser aus einer sicheren oder unsicheren Gefahrenzone separat für die drei Darstellungen der Unsicherheit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	88
Abbildung 43: durchschnittliche Häufigkeit der gewählten Häuser, die sich in der roten Gefahrenzone befinden	88
Abbildung 44: Durchschnittliche Häufigkeit der gewählten Häuser die sich in der gelben oder in der blauen Gefahrenzone befinden	89
Abbildung 45: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikoscheue Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	90
Abbildung 46: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikoscheue Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	91
Abbildung 47: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	92
Abbildung 48: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	92
Abbildung 49: Durchschnittliche Punktzahl für die Visualisierung der Unsicherheit im Vergleich für die risikoscheue und die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	93
Abbildung 50: Vergleich durchschnittliche Punktzahl für eine Karte pro Visualisierung zwischen den Gruppen der räumlichen Fähigkeit (Mittlerwert, ± 1 Standardfehler).....	94
Abbildung 51: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 1, Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	95
Abbildung 52: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 2, Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	95
Abbildung 53: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 3, Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	96
Abbildung 54: Durchschnittliche Zeit pro Karte für die Visualisierungen ohne und mit Unsicherheit über alle Teilnehmenden (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	97
Abbildung 55: Durchschnittliche Zeit pro Karte für alle Visualisierungsarten einzeln über alle Teilnehmenden (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	97
Abbildung 56: Beispiel definierte AOIs für Karte mit Verschwommenheit und Karte mit Farbhelligkeit. AOIs Gruppen: Orange = Grenze, Blau = Gefahrenzone, Gelb = Beschreibung, Grün = Legende, Rosa = Antwort	99
Abbildung 57: Totale Fixierungsdauer in Sekunden für die verschiedenen Bereiche der Karten mit Verschwommenheit und Farbhelligkeit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler).....	100
Abbildung 58: Verlauf der durchschnittlichen Zeit pro Karte. Wichtig: Die Reihenfolge der betrachteten Karten ist zwischen den Serien unterschiedlich. Anhand dieser Graphik kann deshalb nicht definiert	

werden, welche Darstellungsart wann gesehen wurde. Es geht hierbei nur um den Verlauf der durchschnittlichen Zeit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	101
Abbildung 59: Wichtigkeit der drei Aspekte Lage, Gefahr und Preis	108
Abbildung 60: Häufigkeiten zur Frage der Schwierigkeit der Aufgabe, 1 = sehr einfach, 5 = sehr schwierig	109
Abbildung 61: Häufigkeit der angegebenen Eignung der Visualisierungsvarianten für die Darstellung von Unsicherheit	110
Abbildung 62: Durchschnitt der normalisierten Häufigkeiten der gewählten Haustypen. HT = Haustyp (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	116
Abbildung 63: Durchschnittliche normalisierte Häufigkeit der gewählten Haustypen pro Visualisierung (HT = Haustyp, Mittelwert, ± 1 Standardfehler)	127

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigene Darstellung des Tests zur Risikoeinstellung nach (Holt & Laury, 2002). EG = erwarteter Gewinn. Die Teilnehmenden sehen nur die Informationen zu Lotterie A und B. Die erwarteten Gewinne werden nicht mitgeteilt.	53
Tabelle 2: Liste der in dieser Studie vorkommenden Ortschaften	60
Tabelle 3: Gewählte Farben für die Darstellung mit Unsicherheit nach dem RGB Schema	64
Tabelle 4: Preiskategorien für Häuser mit 5 bis 6½ Zimmer	67
Tabelle 5: Die vier Varianten mit den vier Häusern und deren Eigenschaften.....	69
Tabelle 6: Vier Varianten mit Rotation der Buchstaben der Häuser und der Zuteilung der Unsicherheit. Die Eigenschaften der Häuser pro Variante bleiben immer die gleichen, es ändert sich der Buchstabe, mit dem ein Haus definiert wird und ob es in einer unsicheren oder sicheren Zone liegt	71
Tabelle 7: Einteilung der Risikopräferenzklassen, eigene Adaptation nach Holt & Laury (2002).....	78
Tabelle 8: Klassifikation der Häuser für die Auswertung der Resultate.....	80
Tabelle 9: Beispiel Berechnung Punktzahl Teilnehmer P09 (HHT = Häufigkeit Haustyp; PHT = Punktzahl Haustyp).....	82
Tabelle 10: Häufigkeit der zur Auswahl stehenden Häuser in der gelben oder in der blauen Gefahrenzone. Die Häufigkeiten sind nach «ohne Unsicherheit» und «mit Unsicherheit» aufgeteilt	89
Tabelle 11: Beschreibung der Ausprägung der unabhängigen Variablen der binären logistischen Regression	102
Tabelle 12: Struktur der Daten für die Berechnung der logistischen Regression	103
Tabelle 13: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für alle Darstellungen	104
Tabelle 14: Standardisierte Koeffizienten der logistischen Regression für alle Darstellungen zusammen	105
Tabelle 15: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für die Darstellung ohne Unsicherheit	105
Tabelle 16: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für alle Darstellungen mit Unsicherheit	106
Tabelle 17: Standardisierte Koeffizienten der logistischen Regression für die Darstellung ohne Unsicherheit und den Darstellungen ohne Unsicherheit separat	107
Tabelle 18: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 1	155
Tabelle 19: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 2.	155
Tabelle 20: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 3	156

1. Einleitung

1.1. Motivation

Karten werden schon seit längerem als Hilfe für wichtige Entscheidungen eingesetzt. Heutzutage, mit den neuen Technologien, wie z.B. den digitalen Karten, haben sich die Möglichkeiten deutlich erweitert. Digitale Karten erlauben mittels Interaktivität die Daten spezifischer zu erforschen. Man kann z.B. sich nur auf einen speziellen Datensatz konzentrieren, statt sich mit mehreren irrelevanten Daten befassen zu müssen. Oder man kann sich nur auf eine gewisse Region fokussieren, indem man den Maßstab der Karte wechselt. Es hat sich aber nicht nur die Art, wie wir mit den Karten umgehen geändert. Auch was die Karten darstellen, hat sich stark gewandelt. Es gibt nicht mehr nur die klassischen topographischen Karten, welche versuchen die Oberfläche der Erde möglichst präzise darzustellen. Mittlerweile sind Karten verfügbar, die auch nicht fassbare Phänomene darstellen, wie z.B. soziale Ereignisse. All diese Neuigkeiten dienen dazu, Karten und deshalb auch räumliche Daten, immer häufiger als Entscheidungshilfen einzusetzen.

Räumliche Daten werden oft in der Forschung eingesetzt, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen oder besser verstehen zu können. Aber auch im öffentlichen Bereich werden räumliche Daten oftmals als Grundlage für wichtige Entscheidungen genutzt. Tatsächlich kommt es immer öfters vor, dass Entscheidungen sowohl in der Wirtschaft als auch in der Politik so komplex und vernetzt sind, dass die Analyse von räumlichen Daten als Hilfsmittel nicht mehr umgangen werden kann (Griethe & Schumann, 2006a). Tatsächlich nutzten heutzutage rund 80% der Regierungen (z.B. in der Politik, im Ressourcenmanagement oder in der Notfallplanung) räumliche Informationen, um ihre Entscheidungen zu treffen (Hope & Hunter, 2007a). Nicht nur die Behörden sind auf räumliche Informationen angewiesen, auch im privaten Sektor, wie z.B. im Marketing, bei Versicherungen oder in der Transportlogistik, hat der Gebrauch dieser Daten an Bedeutung gewonnen (Hope & Hunter, 2007a).

Aufgrund von Messungenauigkeiten oder Modelle, welche ein Phänomen vereinfacht simulieren, wird aber Unsicherheit in die Daten eingefügt. Somit sind alle Daten, auf denen unsere Entscheidungen basieren mit Unsicherheiten behaftet. Unabhängig davon, mit welcher Art von Daten man arbeitet, ist es fast unmöglich die Unsicherheit zu vermeiden. Sie kommt in den Naturwissenschaften, in der Medizin oder in den Computerwissenschaften vor (Skeels et al., 2010). Dies gilt auch für räumliche Daten (Duckham et al., 2001). Das Wissen, das wir über ein Objekt auf der Erdoberfläche besitzen, ist immer einer Art von Unsicherheit ausgesetzt, sei dies bezüglich der Position des Objekts, dessen Existenz oder dessen Beschreibung (Shi, 2010).

Unsicherheit ist ein schwer fassbarer und abstrakter Begriff. Hunter & Goodchild (1993) definieren Unsicherheit als den unbekanntem Unterschied zwischen der Realität und den gemessenen Daten. Wie in dieser Arbeit aber noch genauer erläutert wird, ist dies nicht die einzige Definition von Unsicherheit. Tatsächlich gibt es keine allgemeingültige Definition von Unsicherheit (Griethe & Schumann, 2006a; Smith et al., 2013), was den Umgang mit Unsicherheit deutlich erschwert. Dies vor allem für Laien, die nicht jeden Tag mit Unsicherheit konfrontiert sind.

Auch wenn der Umgang mit Unsicherheit schwierig ist, kann diese Eigenschaft der Daten nicht einfach ignoriert werden (Zhang & Goodchild, 2002). Eine Entscheidung auf Basis von Daten ohne die Berücksichtigung der dazugehörigen Unsicherheit ist keine informierte Entscheidung. Der Entscheidungstragende könnte das Gefühl haben, er oder sie verfüge über alle Informationen, obwohl dies nicht der Fall ist. Dies kann zu fehlerhaften Entscheidungen führen (Smith et al., 2013). Vor allem in gewissen Fällen ist es wichtig informierte und möglichst genaue Entscheidungen zu treffen. Im öffentlichen Bereich kann es sich z.B. um Naturgefahren handeln. Eine falsche Entscheidung könnte das Leben von mehreren Menschen in Gefahr bringen. Im privaten Sektor hingegen kann eine schlecht informierte Entscheidung zu Verlusten führen. Es kann somit verheerende Folgen haben, wenn die Unsicherheit der Daten bei einer Entscheidung ignoriert wird. Die Unsicherheit der Daten muss unbedingt den Datennutzenden mitgeteilt werden.

Da in der Geographie räumliche Daten meistens durch Karten kommuniziert werden, sollte auch die Unsicherheit der Daten auf der Karte visualisiert werden. Wie im Forschungskontext dieser Arbeit noch genauer erläutert wird, hat die Forschung verschiedene Methoden entwickelt, um Unsicherheit in einer Karte zu visualisieren. Die Information bezüglich der Unsicherheit ist also dem Kartennutzenden zugänglich und kann bei einer Entscheidung berücksichtigt werden. Dies wirft aber folgende Fragen auf: Werden mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit die gleichen Entscheidungen getroffen? Und falls nicht, was ändert sich am Prozess der Entscheidungsfindung mit oder ohne Visualisierung der Unsicherheit?

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf Entscheidungen haben kann. Mehrheitlich haben sich diese Studien auf die Entscheidungsleistung fokussiert (Kinkeldey et al. (2015b)). Sie untersuchten hauptsächlich wie genau und schnell die Entscheidung getroffen wurde oder wie hoch das Selbstvertrauen bei der Entscheidung war. Leitner & Buttenfield (2000) konnten feststellen, dass mit Visualisierung der Unsicherheit genauere und korrektere Entscheidungen getroffen wurden. Die Visualisierung der Unsicherheit hatte in diesem Fall einen positiven Effekt auf die Entscheidung. Hope & Hunter (2007b) haben hingegen eher negative Effekte der Visualisierung der Unsicherheit auf Entscheidungen festgestellt. Bei der Studie von Hope & Hunter (2007b) haben die Entscheidungstragenden mit Visualisierung der Unsicherheit irrationale und unvernünftige Entscheidungen getroffen. Man könnte somit einen Einfluss auf die Korrektheit einer Entscheidung bestätigen, auch wenn es noch unklar ist, ob dieser Effekt positiv oder negativ ist.

Bezüglich der Entscheidungsleistung haben sich nur wenige Studien darauf konzentriert, wie sich das Ergebnis einer Entscheidung verändert, wenn es keine richtige oder falsche Entscheidung gibt (Kinkeldey et al., 2015b). Beispiele dafür sind die Papiere von Deitrick & Edsall (2006), Pyysalo & Oksanen (2014) und Riveiro et al. (2014). In diesen Studien stellte sich heraus, dass unterschiedliche Entscheidungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit getroffen wurden. In dieser Hinsicht muss aber noch weiter geforscht werden, um weitere Erkenntnisse über die Änderung des Ergebnisses einer Entscheidung unter Unsicherheit zu erhalten.

Aufgrund der eben erwähnten Arbeiten kann man vermuten, dass sich der Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit deutlich von dem ohne Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet. Wie eine Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit getroffen wird, wurde in einem geographischen Kontext aber bisher eher selten analysiert. Beispiele sind die Studien von Keuper (2004); Ruginski et al. (2016) und McKenzie et al. (2016). Ausser in der Studie von Keuper (2004) waren die Entscheidungen, welche die Teilnehmenden der Studien treffen mussten, nicht sehr komplex. Auf jeden Fall waren die Entscheidungen deutlich einfacher als diejenigen, die in der Realität getroffen werden müssen, wie z.B. im öffentlichen Bereich. Kinkeldey et al. (2015) sind deshalb der Meinung, dass es an Studien fehlt, in denen die Testpersonen komplexe Aufgaben lösen müssen.

1.2. Ziel der Arbeit

Wie eben erläutert, hat die Forschung schon zahlreiche Studien durchgeführt, um zu verstehen, wie sich die Korrektheit einer Entscheidung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit verändert. Nur wenige Studien haben sich aber darauf konzentriert herauszufinden, welche Wirkung die Visualisierung der Unsicherheit auf das Ergebnis und dem Prozess einer Entscheidung hat (Kinkeldey et al., 2015b).

Mit dieser Arbeit möchte ich versuchen zwei Forschungslücken gleichzeitig anzugehen. Zum einem sollte meine Arbeit einen weiteren Beitrag zur Forschung bezüglich dem Ergebnis einer Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit leisten. Bezüglich dieser Thematik gibt es schon mehrere Forschungen, es braucht aber noch weitere Studien um diesen Effekt besser verstehen zu können. Neben neuen Erkenntnisse bezüglich dem Ergebnis einer Entscheidung möchte ich herausfinden, ob sich die benötigte Zeit zwischen Entscheidungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet. Das Ergebnis der Entscheidung und die benötigte Zeit der Entscheidung bilden in meiner Arbeit die Indikatoren für die Entscheidungsleistung. Das zweite Ziel meiner Arbeit ist es, den Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit besser zu verstehen.

Um mein Ziel zu erreichen, werde ich eine Benutzerstudie durchführen. Dabei werden die Teilnehmenden aufgrund von zwei verschiedenen Informationsgrundlage (mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit) eine Multikriterien-Analyse durchführen. Die Testpersonen sollen sich mithilfe einer Gefahrenkarte für ein Haus entscheiden, welches sie gerne kaufen möchten. Beim Hauskauf müssen die Teilnehmenden die Eigenschaften der Häuser wie Lage, Preis und Gefahr berücksichtigen. Für den Faktor Gefahr wird die dazugehörige Unsicherheit auf der Karte visualisiert. Die Ergebnisse dieser Benutzerstudie sollen Hinweise dazu liefern, welchen Einfluss die Visualisierung der Unsicherheit bei komplexen Entscheidungen hat und ob es in diesem Fall vorteilhaft ist Unsicherheit zu kommunizieren. Die Resultate könnten somit zukünftigen Entscheidungstragenden helfen, bessere Entscheidungen zu treffen. Auch dem Kartenhersteller soll diese Arbeit Hinweise geben, wie eine Karte mit Visualisierung der Unsicherheit aussehen soll.

Diese Arbeit ist folgendermassen strukturiert: Im nächsten Kapitel wird ein Überblick über den Stand der Forschung im Bereich der Visualisierung von Unsicherheit und dessen Effekt auf Entscheidungen

dargestellt. Im dritten Kapitel werden die Forschungsfragen dieser Arbeit genauer erläutert und die dazugehörigen Hypothesen präsentiert. Im selben Kapitel wird die Methodik, die für die Beantwortung der Forschungsfragen eingesetzt wurde, vorgestellt. Anschliessend folgt in Kapitel 4 die Vorstellung der erhaltenen Resultate, die in Kapitel 0 diskutiert werden. Zum Schluss werden in Kapitel 6 die Erkenntnisse dieser Arbeit in einem breiteren Kontext eingebunden und einen Ausblick auf die zukünftige Forschung gegeben.

2. Forschungskontext

Im Folgenden wird auf die bestehende Literatur bezüglich Visualisierung der Unsicherheit und deren Einfluss auf Entscheidungen vertiefter eingegangen. Die analysierte Literatur stammt hauptsächlich aus dem Bereich der Geographie. Zur Unterstützung für gewisse Theorien wurden Papiere aus anderen Bereichen herbeigeht. Für die Zusammenfassung der Literatur wurden nicht nur Papiere analysiert, die explizit Unsicherheit behandeln, sondern auch diejenige, die sich mit Synonymen oder zusammenhängenden Begriffen wie z.B. Ungenauigkeit, Sicherheit und Datenqualität befassen.

Im ersten Teil wird versucht Unsicherheit und dessen Quellen zu definieren. In einem zweiten Teil wird analysiert, ob man Unsicherheit dem Entscheidungstragende kommunizieren soll und vor allem, wie die Unsicherheit kommuniziert werden soll. Zum Schluss wird aufgezeigt, welchen Einfluss die Visualisierung von Unsicherheit auf Entscheidungen hat.

2.1. Definition der Unsicherheit

Digitale Karten, die heutzutage sehr verbreitet sind und welche es z.B. erlauben den Masstab kontinuierlich zu wechseln, geben einen Eindruck von höchster Präzision und Qualität (Keuper, 2004). Dies ist aber eine Illusion (Keuper, 2004). In der Realität sind Daten sehr selten absolut sicher (Skeels et al., 2010). Deshalb sind auch räumliche Daten, die in den Karten dargestellt sind, mit Unsicherheit behaftet (Duckham et al., 2001). Das Wissen, das wir über ein Objekt auf der Erdoberfläche besitzen, ist immer einer Art von Unsicherheit ausgesetzt (Shi, 2010). Diese Unsicherheit kann sich auf die Position des Objekts, dessen Existenz oder dessen Beschreibung beziehen (Shi, 2010).

Aufgrund der Allgegenwärtigkeit der Unsicherheit, muss man lernen mit dieser Dateneigenschaft zurecht zu kommen und diese auch zu berücksichtigen. Bevor man aber mit Unsicherheit arbeiten kann, muss man zuerst verstehen, was Unsicherheit überhaupt ist (Skeels et al., 2010). Unsicherheit ist ein abstrakter Begriff. Aus diesem Grund ist es auch schwierig, den Begriff Unsicherheit generell zu definieren. Dies ist auch der Grund dafür, dass es zahlreiche Definitionen von Unsicherheit gibt. In dieser Arbeit wird Unsicherheit in einem geographischen Kontext erläutert. Für andere Bereiche gibt es noch weitere, verschiedene Definitionen von Unsicherheit. Diese sind für diese Arbeit aber nicht relevant.

Deitrick (2012) definiert Unsicherheit als die unbekannt Komponente der Beziehung zwischen einem realen Wert und dem gemessenen oder geschätztem Wert. Longley et al. (2005) geben eine ähnliche Definition. Sie verstehen Unsicherheit als ein Maß des Verständnisses des Benutzenden für den Unterschied zwischen dem Inhalt der Daten und dem realen Phänomen, welches die Daten repräsentieren sollen. Wichtig zu beachten ist, dass in dieser Definition der Benutzende eine wichtige Rolle spielt. Des Weiteren wird impliziert, dass das Phänomen real ist, der Mensch es aber nicht perfekt abbilden kann (Longley et al., 2005). Eine weitere Definition liefern Hunter & Goodchild (1993): Unsicherheit sei die nicht bekannte, objektive Ungenauigkeit. Die Definition der Autoren scheint etwas genauer zu sein als die von Longley et al. (2005), da Hunter & Goodchild (1993) den Unterschied zwischen den Daten und der Realität als Ungenauigkeit beschreiben.

MacEachren et al. (2005) sind auch der Meinung, dass Unsicherheit ein komplexes Konzept ist. Für die Forscher ist es aber auch ein facettenreicher Begriff, der aus zahlreichen Komponenten besteht. Kinkeldey et al. (2015b) definieren Unsicherheit als ein Überbegriff für Konzepte wie Ungenauigkeit, fehlende Präzision, Vagheit, Subjektivität oder Fehler. Nicht nur Kinkeldey et al. (2015b) haben sich mit den Komponenten der Unsicherheit beschäftigt. Im Folgenden werden einige Komponenten der Unsicherheit aufgelistet, die unter anderem auch in geographischen Daten vorkommen.

- **Genauigkeit/Fehler:** Unterschied zwischen dem gemessenen Wert und dem realen Wert, zwischen der Beobachtung und der Realität (Goodchild et al., 1994; MacEachren et al., 2005).
- **Präzision:** Exaktheit der Messung oder der Schätzung (Goodchild et al., 1994; MacEachren et al., 2005).
- **Vollständigkeit:** Beschreibt, wie umfassend und inhaltreich die Informationen sind (MacEachren et al., 2005).
- **Konsistenz:** Beschreibt, ob die Topologie der Daten (Punkte, Linie und Polygon) sinnvoll ist, wie die einzelnen Komponenten der Informationen übereinstimmen (MacEachren et al., 2005).
- **Abstammung:** Beschreibt den Prozess, mit dem die Daten verarbeitet wurden (Pang, 2001; MacEachren et al., 2005).
- **Aktualität:** Zeitrahmen zwischen dem Ereignis, der Erhebung bis zum Gebrauch der Daten (MacEachren et al., 2005).
- **Glaubwürdigkeit:** Zuverlässigkeit der Quelle der Information (MacEachren et al., 2005).
- **Subjektivität:** Mass für die menschliche Interpretation und Beurteilung, welche bei der Konstruktion der Daten involviert war (MacEachren et al., 2005).
- **Verwobenheit:** Unabhängigkeit der Quelle von anderen Informationen (MacEachren et al., 2005).
- **Rauschen:** Unerwünschte und unabhängige Hintergrundeffekte (Thomson, 2005).

Hunter & Goodchild (1993) halten fest, dass das mangelnde Wissen über die Grösse der Ungenauigkeit dazu führen kann, dass man Resultate und Beobachtungen nur mit Vorsicht behandelt. Nicht nur Hunter & Goodchild (1993) sind der Meinung, dass die Unsicherheit einen Einfluss auf den Datennutzenden hat. Auch Giarratano & Riley (1994, zit. in Watkins, 2000) schreiben, dass Unsicherheit der Mangel an ausreichenden Informationen für das Treffen einer Entscheidung ist. Unsicherheit sei der wichtigste Faktor bei einer Entscheidung. Sie bestimmt, was der oder die Entscheidungstragende über die Entscheidungssituation weiss oder eben nicht weiss (Gulick & Martin, 1988, zit. in Watkins, 2000).

Die genannten Definitionen gelten für jede Art von Daten. In einem geographischen Kontext muss man aber beachten, dass räumliche Daten speziell sind: Räumliche Daten bestehen aus den Komponenten Raum, Attribut und Zeit. Aus diesem Grund unterstreicht Thomson (2005), dass die oben erwähnten Komponenten der Unsicherheit mit den einzelnen Eigenschaften Raum, Zeit und Attribut, verbunden

werden müssen. Auch MacEachren (1992) ist der Meinung, dass die Variabilität von Raum, Zeit und Attribut bei geographischen Daten von grosser Wichtigkeit für die Einschätzung der Datenqualität ist.

Des Weiteren sind nicht nur die Eigenschaften der räumlichen Daten zu beachten, sondern auch die Transformationen, mit denen die geographischen Daten verarbeitet werden. MacEachren (1992) argumentiert z.B., dass die räumliche und attributive Aggregation der Daten weitere Unsicherheit einführt. Die Verteilung innerhalb einer Klasse bleibt dem Kartennutzenden unbekannt. Bezüglich der Zeit schreibt MacEachren (1992), dass die Daten eine Momentaufnahme zu einem gewissen Zeitpunkt sind. Die Unsicherheit nimmt mit dem zeitlichen Unterschied zwischen der Datenaufnahme und der Datennutzung zu, auch wenn diese Problematik sich von Phänomen zu Phänomen unterscheidet (MacEachren, 1992). Unsicherheit in der Geographie kann also noch facettenreicher sein als in anderen Bereichen.

Zum Schluss möchte ich festhalten, dass die Literatur keine universelle Definition von Unsicherheit liefert (Griethe & Schumann, 2006a; Smith et al., 2013). Deshalb sind die hier zitierten Autoren nicht die einzigen, die sich mit der Definierung des Begriffs Unsicherheit befasst haben. Es gibt noch weitere Definitionen der Unsicherheit, auf welche ich nicht genauer eingehen werde. Aufgrund der vorgestellten Definitionen wird in dieser Arbeit unter Unsicherheit Folgendes verstanden: Unsicherheit repräsentiert den Unterschied zwischen der Realität und den gemessenen Werten, sie besteht aus verschiedenen Komponenten und kann einen Einfluss auf Entscheidungen haben.

2.2. Quellen der Unsicherheit

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie Unsicherheit entsteht. Die Quellen der Unsicherheit werden nur für einen geographischen Kontext angegeben. Bei raumbezogenen Analysen und deren Visualisierung gibt es mehrere Quellen von Unsicherheit (Trau & Hurni, 2007). Pang (2008) empfiehlt, diese Quellen in drei Kategorien aufzuteilen: Datenaufnahme, Transformation der Daten und Visualisierung (siehe Abbildung 1).

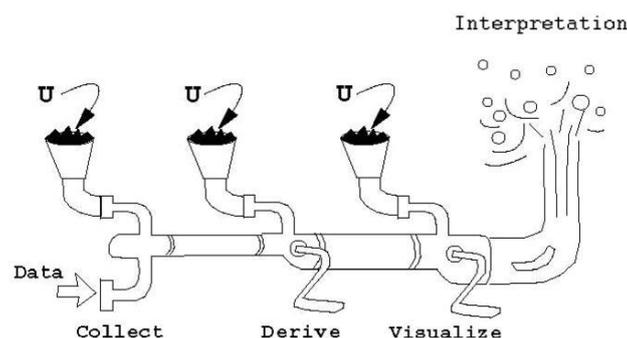


Abbildung 1: Visualisierungspipeline nach Pang (2008). Unsicherheit (U) kann bei den drei Schritten Aufnahme, Transformation und Visualisierung eindringen

Daten werden durch Beobachtungen und Messungen gesammelt. In beiden Fällen kann Unsicherheit, z.B. durch die falsche Kalibrierung eines Instruments, eindringen (Pang, 2008). Oftmals werden auch Einschätzungen oder Simulationen gebraucht, die mithilfe von mathematischen Modellen berechnet

werden (Kunz et al., 2011). Da diese mathematischen Modelle eine Vereinfachung der Realität sind, beinhalten sie eine gewisse Unsicherheit (Kunz et al. 2011).

Wenn die Daten einmal zur Verfügung stehen, werden diese oft transformiert. Tatsächlich werden häufig nicht die rohen, gemessenen Daten visualisiert. Es genügen schon einfache Transformationen, wie z.B. eine Umrechnung in eine andere Masseinheit oder die Transformation zu einem anderen Koordinatensystem, um Unsicherheit einzuführen (Pang, 2008; Kunz et al., 2011).

Schlussendlich kommt Unsicherheit auch bei der Visualisierung selbst vor. Diese kann z.B. durch falsche Positionierungen aufgrund von Generalisierung oder durch schlechte Auflösung geschehen (Pang, 2008).

Um ein praktisches Beispiel für die Quellen von Unsicherheit zu geben, wird auf die Schätzung des Ausmasses einer Naturgefahr eingegangen. Eine Naturgefahr ist ein komplexer Prozess, der mit einer Vielzahl von anderen einzelnen Prozessen interagiert (Trau & Hurni, 2007). Trau & Hurni (2007) erklären, dass die natürlichen Prozesse und deren Parametern zeitlich und räumlich sehr variabel sein können. Dies erschwert die Aufnahme von aktuellen Daten. Aus diesem Grund ist die Prognose dieser Prozesse ein komplexes Verfahren. Für eine möglichst präzise Vorhersage, werden mehrere verschiedene Modelle schrittweise eingesetzt. Die Resultate dieser Modelle werden dann als Input für das nächste Modell gebraucht. Bei der Transformation der Daten wird somit die Unsicherheit von Modell zu Modell weitergereicht (Trau & Hurni, 2007). Schlussendlich kommt auch bei der Visualisierung der Vorhersage der Naturkatastrophe Unsicherheit vor. Da die Unsicherheit in jedem einzelnen Schritt eingeführt werden kann, ist es schwierig die Ungenauigkeit zu quantifizieren.

2.3. Kommunikation von Unsicherheit

Wie in der Einleitung dieser Arbeit schon erwähnt, werden räumliche Daten in verschiedene Bereiche genutzt, um neue Erkenntnisse zu gewinnen oder um wichtige Entscheidungen zu treffen. Wie im vorherigen Kapitel gesehen, sind aber die meisten Daten mit Unsicherheit behaftet. Es stellt sich nun die Frage, ob die Unsicherheit den Datennutzenden überhaupt kommuniziert werden soll. Wenn schon die Forschung Mühe hat, eine klare, universelle Definition der Unsicherheit zu liefern, kann dann eine unerfahrene Person im Umgang mit räumlichen Daten mit ihr zurechtkommen? Im Folgenden wird nur auf die Kommunikation der Unsicherheit durch Visualisierung in einem geographischen Kontext eingegangen.

Wie die Unsicherheit der Daten auf einer Karte kommuniziert werden soll, wurde schon öfters diskutiert (z.B. MacEachren, 1992; MacEachren et al., 2012; Kinkeldey et al., 2014b). Jedoch stellen einige Forscher in Frage, ob die Unsicherheit überhaupt dargestellt werden soll. Bis vor einigen Jahren war man der Meinung, dass Unsicherheit sich wie jede andere räumliche Information auf einer Karte verhält und somit die Karte schwieriger zum lesen wird (Roth, 2009a). Dies hat dazu geführt, dass Autoren wie Beard & Mackaness (1993) und McGranaghan (1993) vor der Visualisierung der Unsicherheit warnten.

McGranaghan (1993) schreibt zum Beispiel, dass auch wenn geeignete Methoden für die Darstellung der Unsicherheit auf einer Karte vorliegen, die Fähigkeiten des Menschen diese komplexe Visualisierung

zu verstehen limitiert sein könnten. Auch wenn den Kartennutzenden die Symbolisierung erklärt wird, kann es trotzdem zu Verwirrung bei der Interpretation der Daten kommen (McGranaghan, 1993).

Auch Beard & Mackaness (1993) teilen diese Meinung. Eine ungeeignete Visualisierung der Datenqualität kann verwirrend sein. Es ist nur sinnvoll, die Qualität der Daten zu visualisieren, wenn dies auch für die Entscheidung wichtig ist (Beard & Mackaness, 1993).

Auch neuere Studien, die sich mit diesem Thema befassen zeigen, dass einige Forscher diese Meinung unterstützten. Experten, die sich mit Fernerkundung und Veränderungen in der Landüberdeckung beschäftigen zweifeln daran, dass die Entscheidungstragenden mit der Unsicherheit korrekt umgehen könnten (Kinkeldey et al., 2015a). Sie befürchten, dass die generelle Qualität der Daten angezweifelt wird und dass sich die Entscheidungstragenden mehr mit der Unsicherheit beschäftigen, als mit dem Inhalt der Daten selber (Kinkeldey et al., 2015a). Es existieren auch Studien, die aufzeigen, dass die Kommunikation der Unsicherheit relativ schlecht akzeptiert wurde. Cliburn et al. (2002) haben herausgefunden, dass, auch wenn die Entscheidungstragenden mit der Visualisierung der Unsicherheit umgehen konnten, sie gegenüber dem Nutzen der Unsicherheit skeptisch waren. Die Entscheidungstragenden benötigten zusätzliche Informationen, um mit der Information bezüglich der Unsicherheit umzugehen. Beispielsweise sollte dem Kartennutzende mitgeteilt werden, ab welchem Unsicherheitswert die Analyse der Daten problematisch werden könnte. Cliburn et al. (2002) hält ausserdem fest, dass die Entscheidungstragenden zu wenig Zeit hatten, um die Unsicherheit in den Daten zu erkunden und gründlich zu verstehen. Der Zeitfaktor, den Cliburn et al. (2002) erwähnen, bestätigt die Aussage von Kinkeldey et al. (2015a), dass man unter Umständen zu viel Zeit für die Interpretation der Unsicherheit benötigt.

Auch wenn sich herausgestellt hat, dass nicht alle Entscheidungstragenden die Kommunikation von Unsicherheit als hilfreich empfunden haben, so ist ein Teil der Literatur davon überzeugt, dass die Unsicherheit mitgeteilt werden muss. Riveiro et al. (2014) sind der Meinung, dass die Kartennutzenden sich über die Unsicherheit in den Daten bewusst sein müssen. Andernfalls birgt es die Gefahr, dass die Daten missverstanden werden und es zu fehlerhaften Schlussfolgerungen kommt (Riveiro et al., 2014). Auch Zhang & Goodchild (2002) sind der Meinung, dass die Unsicherheit nicht einfach ignoriert werden kann, weil dies zu fragwürdigen Resultaten führen könnte. Des Weiteren, wenn Entscheidungen mithilfe von visualisierten räumlichen Daten ohne die Berücksichtigung der Unsicherheit getroffen werden, können diese ungenau und fehlerhaft sein (Smith et al., 2013). Eine falsche Entscheidung kann in manchen Situationen schwerwiegende und verheerende Konsequenzen haben (Griethe & Schumann, 2006b). Nur mit der Kommunikation von Unsicherheit kann man informierte Entscheidungen anhand von unvollständigen Daten treffen (Lodha et al, 1996).

Es kann also bei Entscheidungen nützlich sein, wenn man sich über die Unsicherheit in räumlichen Daten bewusst ist und wenn diese in der Karte visualisiert wird. Aerts et al. (2003) haben in ihrer Studie herausgefunden, dass die Visualisierung der Unsicherheit die Analysen und die Vorhersagen des Entscheidungstragenden verbessern. Auch Leitner & Buttenfield (2000) halten fest, dass die Integration der Unsicherheit in einer Karte dem Entscheidungstragende helfen kann. Die Visualisierung der Unsicherheit

bei einer einfachen Entscheidungsaufgabe wird nicht als zusätzliche Komplexität betrachtet, sondern eher als eine Verdeutlichung der vorliegenden Informationen (Leitner & Buttenfield, 2000; Aerts et al., 2003). Diese Resultate scheinen darauf hinzuweisen, dass, wenn eine geeignete Darstellung gewählt wird, die Visualisierung der Unsicherheit nicht als Erschwernis oder Verwirrung angesehen wird (Kinkeldey et al., 2014a).

Auch wenn es gewisse Ausnahmen gibt (siehe z.B. Kinkeldey et al., 2015a), wird heutzutage Unsicherheit immer weniger als etwas empfunden, was man in Entscheidungen eliminieren sollte, sondern als etwas das möglicherweise hilfreich sein könnte (Deitrick, 2012). Somit wird die Notwendigkeit, Unsicherheit zu visualisieren, heutzutage allgemein akzeptiert (Zuk & Carpendale, 2006), auch wenn nicht alle Entscheidungstragenden es für hilfreich empfinden (Kinkeldey et al., 2015b). Wie aber die Unsicherheit visualisiert werden soll, damit das Verständnis der Daten nicht verloren geht, ist immer noch eine relativ offene Frage (Zuk & Carpendale, 2006). Im nächsten Kapitel wird deshalb auf die existierenden Methoden für die Visualisierung von Unsicherheit in der Geographie eingegangen.

2.4. Visualisierung der Unsicherheit

Bis vor einigen Jahren wurde die Qualität der Daten in einem Bericht beschrieben, welcher der Karte beigelegt wurde (Evans, 1997). In einem Versuch, die Trennung zwischen der Karte und der Dokumentation der Qualität der Daten zu vermeiden, lancierte 1991 das «National Center for Geographic Information and Analysis» (NCGIA) eine Initiative für die Visualisierung der Qualität der Daten (Beard et al., 1991). Diese Initiative appellierte dazu Methoden zu erforschen, um die Sicherheit der Daten graphisch in eine Karte einzubauen (Beard et al., 1991). Seit diesem Zeitpunkt hat sich die Forschung in der Kartographie und in der Geographischen Informationswissenschaft intensiv mit der Visualisierung von Unsicherheit befasst. Grundsätzlich hat sich die Forschung mit zwei grossen Themen auseinandergesetzt: Wie kann man Unsicherheit visualisieren und wie wird die Darstellung vom Kartennutzenden interpretiert und verstanden? In diesem Kapitel wird auf den Stand der Forschung bezüglich der Methoden zur Visualisierung der Unsicherheit eingegangen. Wie die Unsicherheit interpretiert und verstanden wird, wird in Kapitel 2.6 erläutert.

MacEachren (1992) definiert Visualisierung als die «menschliche Fähigkeit mentale Bilder zu entwickeln und mithilfe von spezifischen Instrumenten diese Fähigkeit zu unterstützen und zu steigern». Mit einer gelungenen Visualisierung sollte das Muster, das auf einer Karte dargestellt ist, automatisch erkennbar sein, ohne dass man mental das Muster generieren muss (MacEachren, 1992). Aus diesem Grund beschäftigt sich ein grosser Teil der Forschung damit, welche Komponenten eines Symbols die Daten und welche die Unsicherheit darstellen sollen, damit die Visualisierung nicht verwirrend wirkt (MacEachren et al., 2005).

Im Verlauf der Zeit haben viele Forscher verschiedene Methoden ergründet, um Unsicherheit in einer Karte zu visualisieren. Kinkeldey et al. (2014a) haben all diese Methoden in fünf allgemeine Kategorien

für die Visualisierung von Unsicherheit unterteilt. Wenn nicht anders vermerkt, basieren die folgenden Beschreibungen auf das Papier von Kinkeldey et al. (2014a).

- **Explizit / implizit:** Die Unsicherheit kann entweder direkt dargestellt werden (*explizit*) oder indirekt (*implizit*) (Deitrick, 2012). Ein Beispiel für die implizite Visualisierung der Unsicherheit sind mehrere Darstellungen, die verschiedene mögliche Ergebnisse oder Vorkommnisse eines Phänomens zeigen. Bei der expliziten Variante wird die Unsicherheit direkt dargestellt. Die explizite Darstellung ist die bekannteste Variante (Kinkeldey et al., 2014a).
- **Intrinsisch / extrinsisch:** Bei der intrinsischen Variante wird das Erscheinungsbild eines Objektes auf der Karte direkt verändert, um dessen Unsicherheit zu visualisieren (MacEachren et al., 2005). In der extrinsischen Variante werden zusätzliche Symbole für die Darstellung der Unsicherheit eingesetzt (MacEachren et al., 2005).
- **Visuell integral / trennbar:** Diese Kategorie fokussiert sich auf die visuell kognitive Antwort des Betrachters. Eine visuell integrale Darstellung der Unsicherheit kann nicht von der Visualisierung der Daten separat wahrgenommen werden (MacEachren et al., 1998). Eine visuell trennbare Darstellung der Unsicherheit kann hingegen von den Daten separat gelesen werden (MacEachren et al., 1998). Diese zwei Kategorien überlappen stark mit den Kategorien intrinsisch / extrinsisch, weil intrinsische Darstellungen, im Gegensatz zu extrinsischen, meistens nicht von den Daten trennbar sind.
- **Bivariat / univariat (koinzident / danebenliegend):** Die Unsicherheit kann entweder in der gleichen Ansicht dargestellt werden (*koinzident*) oder in einer separaten Ansicht (*danebenliegend*) (MacEachren, 1992). In einem geographischen Kontext wird diese Kategorie auch univariate oder bivariate Karte genannt. In einem univariaten Fall werden zwei separate Karten hergestellt. In der ersten Karte werden die Daten selber dargestellt, in der zweiten Karte wird die dazugehörige Unsicherheit visualisiert. Bei einer bivariaten Karte wird die Ausdehnung zweier räumlichen Informationen auf der gleichen Karte dargestellt (Retchless & Brewer, 2016). In diesem Fall wird nur eine Karte hergestellt, in der die Unsicherheit zusammen mit den Daten dargestellt ist.
- **Statisch / dynamisch:** Die Unsicherheit kann entweder auf einer statischen Karte dargestellt werden oder in einer dynamischen Karte, indem man Animation oder Interaktion benutzt. In den statischen Karten werden z.B. das intrinsische oder extrinsische Verfahren angewendet. Beispiel für dynamische Karten sind hingegen in Kapitel 2.4.4 beschrieben.

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche Visualisierungsarten angefertigt und getestet, um die Daten und ihre spezifische Unsicherheit darzustellen. Um diese Visualisierungen zu testen, wurden zahlreiche Studien durchgeführt. Diese Studien verwendeten häufig zwei Arten von Aufgaben (Kinkeldey et al., 2014a). Bei der ersten Art geht es um eine objektive Bewertung. Diese Art von Aufgabe schliesst das Ablesen von numerischen Werten, verschiedene Einschätzungen, Vergleiche und das Erstellen von Rangordnungen mit

ein. Die zweite Kategorie beinhaltet Aufgaben für die subjektive Bewertung. Mit diesen Aufgaben will man herausfinden, wie intuitiv eine Darstellung für die Visualisierung der Unsicherheit ist, welche Visualisierungsart von den Testpersonen bevorzugt wird oder wie sich das Selbstvertrauen des Nutzenden bei der Arbeit mit der Visualisierung der Unsicherheit verändert (Kinkeldey et al., 2014a). Man erkennt, dass die Aufgaben der beiden Kategorien relativ einfach sind.

Im Folgenden werden Studien erläutert, die verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit getestet haben. In vorliegender Arbeit wird vor allem auf die Kategorien intrinsisch / extrinsisch, visuell integral / trennbar, bivariat / univariat und dynamisch eingegangen. In dieser Arbeit wird nicht auf den Unterschied zwischen implizite / explizite Darstellung der Unsicherheit eingegangen, weil bei impliziten Visualisierungen Unsicherheit nicht direkt dargestellt wird. Alle im Folgenden beschriebenen Kategorien gehören zur expliziten Darstellungsform.

Die vorgestellten Visualisierungen stellen nicht alle getesteten Darstellungsmöglichkeiten dar. Wie bereits am Anfang des Forschungskontexts erläutert, werde ich mich vor allem auf Studien mit geographischen Daten konzentrieren. Dies bedeutet, dass Unsicherheit bezüglich Raum, Attribut und Zeit visualisiert wurde. Dabei muss beachtet werden, dass sich die Forschung vor allem für Darstellungen interessiert hat, die sich für die Visualisierung von Attributunsicherheit eignen (Kinkeldey et al., 2014a). Nur wenige haben sich mit Visualisierung von Position- oder Zeitunsicherheit beschäftigt (Kinkeldey et al., 2014a).

2.4.1. Intrinsische / extrinsische Visualisierung der Unsicherheit

Intrinsische Visualisierung

Die meisten Studien setzten eine intrinsische Darstellung der Unsicherheit ein. Dabei werden die vorliegenden graphischen Variablen einer Karte so verändert, dass Unsicherheit dargestellt werden kann (Kinkeldey et al., 2014a). Um die Unsicherheit intrinsisch darzustellen, schlägt MacEachren (1992) als einer der ersten die Nutzung der sieben graphischen Variablen nach Bertin (1983) vor:

- Position
- Grösse
- Farbton
- Farbhelligkeit
- Textur
- Orientierung
- Form

Zu einem späteren Zeitpunkt wurden zudem die zwei graphischen Variablen «Farbsättigung» (Morrison, 1974, zit. in MacEachren, 1992) und «Bildschärfe» (MacEachren, 1992) hinzugefügt. MacEachren (1992) stellt sich nun die Frage, welche graphische Variable sich am besten für welche Art der Unsicherheit eignet. Seiner Meinung nach eignen sich die «Grösse» und die «Farbhelligkeit» besonders

gut für die Darstellung der Unsicherheit bei numerischen Informationen. Der «Farbton», die «Form» und eventuell die «Orientierung» können für die Visualisierung der Unsicherheit von nominalen Daten eingesetzt werden. «Textur» hingegen funktioniert am besten bei einer binären Klassifikation der Unsicherheit in «sicher» und «nicht sicher». MacEachren (1992) ist ausserdem der Meinung, dass die «Farbsättigung» und die «Bildschärfe» die logischsten graphischen Variablen für die Visualisierung von Unsicherheit sind. Im Falle der Farbsättigung stellt der pure Farbton die sichersten Daten dar, während die ungesättigten, gräulichen Farben für höhere Unsicherheit stehen. Was die Bildschärfe angeht, kann diese graphische Variable in verschiedenen Weisen manipuliert werden, um Unsicherheit darzustellen. MacEachren (1992) listet vier verschiedene Varianten auf:

- **Kantenschärfe:** Die Kanten einer Form werden verschwommen dargestellt. Diese Art der Darstellung soll die Positionsunsicherheit zeigen. Je verschwommener die Darstellung, desto unsicherer die Position. Ein Beispiel ist in Abbildung 2 ersichtlich.

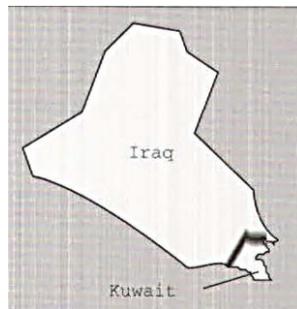


Abbildung 2: Unsichere Grenze zwischen Kuwait und Irak (MacEachren, 1992)

- **Klarheit der Füllung:** Die Füllung einer Form wird verschwommen dargestellt. Dies deutet auf Attributunsicherheit hin. Je verschwommener die Darstellung, desto unsicherer das Attribut. Ein Beispiel ist in Abbildung 3 ersichtlich.

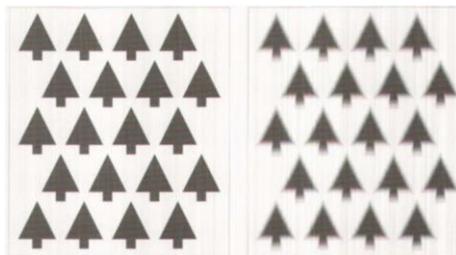


Abbildung 3: Sicherem vs. unsicheren Landbedeckungstyp (MacEachren, 1992)

- **Nebel:** Zwischen der Karte und dem Benutzenden wird Nebel eingefügt. Je dicker der Nebel, desto unsicherer ist der Ausschnitt der Karte (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Karte des durch Ozon verursachten ökologischen Risikos. Die Isolinien geben den Risikoindex an, der Nebel mit verschiedener Dicke gibt die Unsicherheit an (MacEachren, 1992)

- **Auflösung:** Die Auflösung wird so verändert, dass sie der Unsicherheit der Daten entspricht. Je schlechter die Auflösung, desto unsicherer sind die Daten. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 ersichtlich.



Abbildung 5: Anordnung der Kontinente in der mittleren Kreidezeit. Die schlechte Auflösung der Küste deutet auf die unsichere Form der Kontinente hin (MacEachren, 1992)

Einige Jahre später haben MacEachren et al. (2012) eine Studie durchgeführt um zu testen, welche graphische Variable am intuitivsten für die Visualisierung von allgemeiner Unsicherheit ist. Zu den sieben oben genannten graphischen Variablen von Bertin (1983), der Farbsättigung und der Bildschärfe wurde die Transparenz hinzugefügt. Die Textur wurde in die zwei Komponenten aufgeteilt: Körnung und Anordnung. Die analysierten Variablen sind in Abbildung 6 zu sehen.

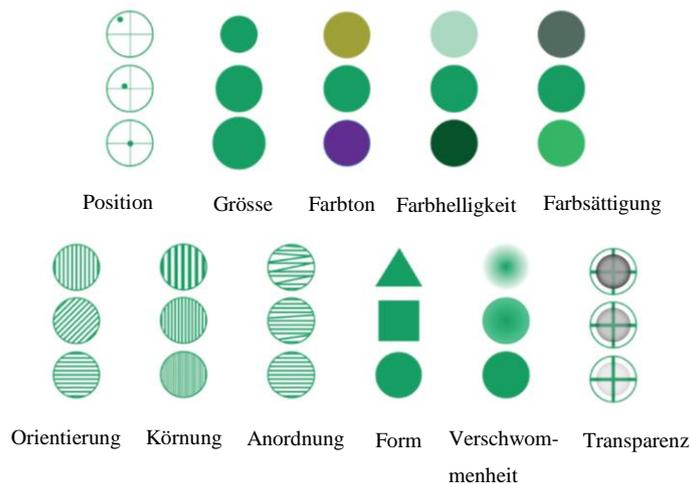


Abbildung 6: Graphische Variablen die auf ihr Verständnis für die Visualisierung von allgemeiner Unsicherheit getestet wurden (MacEachren et al., 2012)

Um zu testen, wie intuitiv die Darstellungen sind, wurden den Teilnehmenden eine Reihe von Symbol-Gruppen gezeigt. Jede Gruppe enthält drei Symbole (siehe Abbildung 6). Die drei Symbole wurden von sicher bis unsicher geordnet. Die Ordnung wurde in beiden Richtungen getestet. Die Teilnehmenden

mussten in der Studie angeben, wie logisch sie eine Symbol-Gruppe für die Darstellung der Unsicherheit generell fanden. Eine Beispielaufgabe ist in Abbildung 7 ersichtlich.

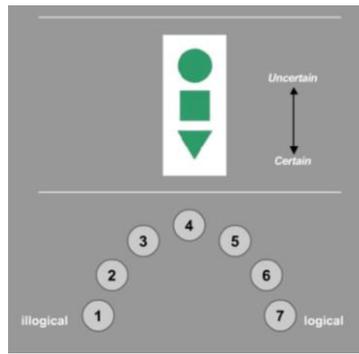


Abbildung 7: Beispiel der Aufgabe zum Verständnis der Symbole. In diesem Fall wurde die graphische Variable Form getestet (MacEachren et al., 2012)

MacEachren et al. (2012) haben dabei herausgefunden, dass drei graphische Variablen besonders intuitiv für die Darstellung von allgemeiner Unsicherheit sind: Verschwommenheit, Position und Farbhelligkeit. Als mittelmässig intuitiv wurden die graphischen Variablen Anordnung, Grösse und Transparenz eingestuft. Dabei spielte die Richtung der Symbolensets eine wichtige Rolle. Hohe Verschwommenheit, grosse Distanz vom Zentrum, helle Farben, zufällige Anordnung, kleine Formen und hohe Transparenz stehen für höhere Unsicherheit. Die restlichen graphischen Variablen Farbsättigung, Farbton, Orientierung und Form wurden als nicht intuitiv eingestuft (MacEachren et al., 2012).

Boukhelifa et al. (2012) hingegen haben sich mit der Visualisierung der Positionsunsicherheit bei Linien befasst. Dafür haben sie drei bekanntere Methoden mit einer weniger bekannten verglichen. Die bekannten Methoden sind die Farbhelligkeit (Graustufen), die Unschärfe («blur») und die gestrichelte Linie («dashing»). Neu wurde die Skizzenhaftigkeit («sketchiness») getestet. Die vier Techniken sind in Abbildung 8 ersichtlich.

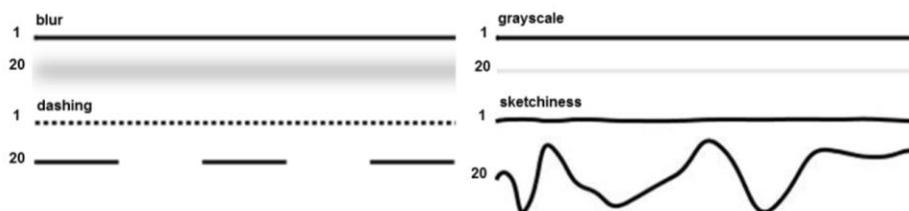


Abbildung 8: Methoden um die Unsicherheit einer Linie darzustellen. Von oben links im Uhrzeigersinn: Unschärfe, Farbhelligkeit, Skizzenhaftigkeit und gestrichelte Linie (Boukhelifa et al, 2012)

Bei der Farbhelligkeit stellt die dunklere Farbe die sichere Position der Linie dar. Dies gilt auch für die scharfe Linie bei der Darstellung mit Unschärfe. Bei der Darstellung mit der gestrichelten Linie weist einen grossen Abstand auf Unsicherheit hin. Bei der Skizzenhaftigkeit wird die Linie so verzerrt, dass es aussieht, als ob sie von Hand gemalt wurde. Wie stark die Linie verzerrt wird, hängt von der Grösse der Unsicherheit ab.

Bei der Studie von Boukhelifa et al. (2012) wurde untersucht wie genau die Teilnehmenden verschiedene Stufen der Unsicherheit ermitteln können, wie intuitiv sie die Darstellungen finden und

welche sie schlussendlich bevorzugen. Was die Unterscheidung der verschiedenen Unsicherheitsklassen angeht, konnten die Teilnehmenden mit den graphischen Variablen Farbhelligkeit und Unschärfe am meisten Klassen unterscheiden. Mit der Skizzenhaftigkeit konnten die Testpersonen eine Klasse weniger ausmachen. Man erkennt also, dass die Skizzenhaftigkeit nur leicht weniger verständlich als die üblichen Methoden der Visualisierung von Positionsunsicherheit ist. Bezüglich dem Verständnis der Visualisierung haben die Autoren herausgefunden, dass die Skizzenhaftigkeit, welche hier zum ersten Mal eingesetzt wurde, gleich intuitiv ist wie die Unschärfe.

Bezüglich der Präferenz der Darstellungen war die gestrichelte Linie die beliebteste Variante, gefolgt von der Unschärfe, der Farbhelligkeit und der Skizzenhaftigkeit. Zur Skizzenhaftigkeit wurden auch negative Kommentare abgegeben. Einige Teilnehmende waren der Meinung, dass diese Technik unprofessionell und informell aussieht. Wie die Autoren aber erwähnen, kann manchmal eine informelle Darstellung wünschenswert sein. Boukhelifa et al. (2012) sind der Ansicht, dass der Gebrauch von Skizzenhaftigkeit in manchen Fällen berechtigt ist. Es werden aber noch weitere Studien benötigt, um den geeigneten Kontext zu finden.

Extrinsische Visualisierung der Unsicherheit

Wie schon erwähnt, werden bei den extrinsischen Darstellungen der Unsicherheit zusätzliche Symbole eingesetzt. Es gibt viele verschiedene Varianten um Unsicherheit extrinsisch darzustellen. Im Folgenden werden einige Beispiele aufgezeigt.

Pang (2001) schlägt den Gebrauch von sogenannten Bildzeichen vor, die im Englischen auch «Glyphs» genannt werden. Diese Bildzeichen sind zusammengesetzte graphische Objekte, bei denen mehrere graphische Variablen gleichzeitig geändert werden können um viele verschiedene Eigenschaften der Daten darzulegen (Pang, 2001). Auch wenn diese «Glyphs» schnell als überfordernd wahrgenommen werden, sind sie nach Pang's (2001) Meinung ideal um Unsicherheit darzustellen. In der Tat, setzten Cliburn et al. (2002) die Bildzeichen bei der Unterstützung von Entscheidungen bezüglich Wasserressourcen ein. Dabei wurde eine Vorhersage der Veränderung der Wasserbilanz dargestellt, welche aus verschiedenen Modellen stammten. Mit Säulen, die über und unter die Oberfläche reichten wurde dargestellt, wie viele Modelle in einer Region die Werte über- oder unterschätzt haben (Cliburn et al., 2002). Ein Beispiel ist in Abbildung 9 ersichtlich.

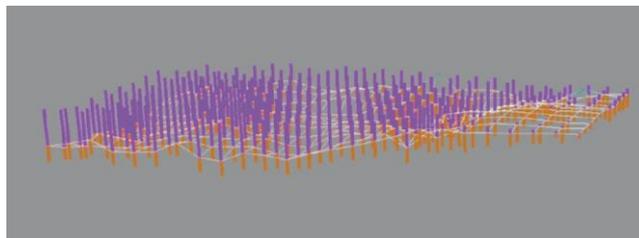


Abbildung 9: Beispiel Visualisierung der Unsicherheit mit Säulen (Cliburn et al., 2002)

Cliburn et al. (2002) haben eine Studie durchgeführt um zu testen, wie verständlich diese Art der Darstellung ist. Dabei haben sie herausgefunden, dass die Verwendung von Bildzeichen überfordernd und

verwirrend sein kann. Als Lösung schlagen die Autoren Interaktivität vor, z.B. indem man dem Kartennutzenden erlaubt, sich auf einen Ausschnitt der Karte zu fokussieren.

Auch in der Studie von Newman & Lee (2004) wurden verschiedene Arten von Bildzeichen eingesetzt, wenn auch nicht in einem geographischen, sondern in einem biologischen Kontext. Die Autoren haben für die Visualisierung von Unsicherheit unter anderem Zylinder, Kegel oder Kugeln gebraucht. Die Höhe des Zylinders, die Breite des Kegels oder der Radius der Kugel sind Indikatoren für die lokale Unsicherheit. Zudem haben sie Pfeile eingesetzt, welche eine klassischere Variante an Bildzeichen darstellen. Je länger der Pfeil, desto höher die Unsicherheit. Newman & Lee (2004) haben diese verschiedenen extrinsischen Techniken mit den intrinsischen Visualisierungen Transparenz, Farbton und Verschwommenheit verglichen. Die Autoren haben herausgefunden, dass es für die Testpersonen einfacher war, die Unsicherheit mit den extrinsischen Darstellungen zu ermitteln. Die Teilnehmenden haben aber auch angegeben, dass z.B. die Visualisierung mit den Zylindern oder den Kegeln zu überlastet war.

Weniger bekannt sind die rasterbasierten extrinsischen Visualisierungen (Kinkeldey et al., 2014a). Ein Beispiel sind die sogenannten «noise annotation lines» von Kinkeldey et al. (2014b). Diese sind vor allem für die Visualisierung von Attributunsicherheit bei Fernerkundungsdaten, wie z.B. Landklassifizierungen, geeignet. Bei dieser extrinsischen Technik wird ein Raster über eine Karte gelegt. Die Ränder der Zellen werden mit einem gewissen Grad an Rauschen dargestellt, in Abhängigkeit dazu wie unsicher die Grenzen der Zellen sind (siehe Abbildung 10).

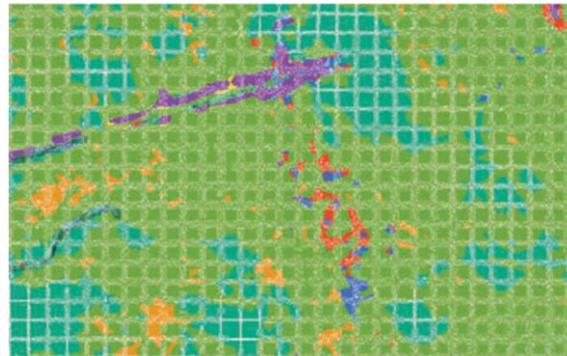


Abbildung 10: Klassifizierung der Vegetation. Die «noise annotation lines» stellen die Unsicherheit der Klassifikation dar. Je stärker das Rauschen, desto höher ist die Unsicherheit (Kinkeldey et al., 2014b)

Die Autoren haben in einem Vortest herausgefunden, dass das Rauschen besonders intuitiv für die Darstellung der Unsicherheit ist. Je breiter das Rauschen um eine Zelle ist, desto höher ist die Unsicherheit bezüglich der Attributzuteilung. Somit kann die Unsicherheit qualitativ dargestellt werden, was für Kinkeldey et al. (2014b) in diesem Fall genügend ist. Um die Brauchbarkeit dieser extrinsischen Darstellung zu testen, führten die Autoren eine Studie durch. In dieser Studie mussten die Testpersonen unter anderem die Unsicherheit von zwei angegebenen Regionen auf der Karte vergleichen und die unsicherere Region ermitteln. Dabei haben die Autoren herausgefunden, dass die Testpersonen bis zu sechs verschiedene Klassen an Unsicherheit, die mit der Breite des Rauschens repräsentiert wurden, unterscheiden können. Die Autoren empfehlen den Gebrauch dieser Art der Visualisierung vor allem bei

Karten, in denen die Farben schon weitgehend benutzt worden sind und eine intrinsische Darstellung der Unsicherheit nicht möglich ist (Kinkeldey et al., 2014b).

Bezüglich der Verständlichkeit dieser Visualisierung haben Slocum et al. (2003) herausgefunden, dass vor allem Personen mit einem wissenschaftlichen Hintergrund extrinsische Darstellungen bevorzugen. Laien hingegen arbeiten lieber mit intrinsischen Visualisierungen der Unsicherheit. Slocum et al. (2003) schliessen daraus, dass intrinsische Darstellungen eher einen Überblick der Unsicherheit geben. Extrinsische Visualisierungen dafür eine tiefgründige Analyse ermöglichen (Slocum et al., 2003).

Wie in diesem Kapitel gesehen, gibt es positive Resultate beim Gebrauch von intrinsischen und extrinsischen Visualisierungen. Auf die Frage, welche Art der Darstellung im welchen Fall besser geeignet ist, antworten Kunz et al. (2011), dass intrinsische Visualisierungen eher für quantitative Informationen geeignet sind, während extrinsische Visualisierungen für qualitative Daten sprechen. Auch Kinkeldey et al. (2014b) haben aufgrund der bestehenden Literatur festgestellt, dass eine extrinsische Darstellung, wie z.B. die «noise annotation lines», sich besonders dazu eignet, qualitative Informationen zu visualisieren. Des Weiteren haben Slocum et al. (2003) erkannt, dass auch die Fachkenntnisse einen Einfluss auf das Verständnis der Visualisierung haben können. Welche Darstellung also bevorzugt werden soll, hängt von den Daten, den Kartennutzenden und dem Ziel der Karte ab.

2.4.2. Visuell integrale / visuell trennbare Visualisierung der Unsicherheit

In diesem Kapitel werden zwei Studien erläutert, die visuell integrale und die visuell trennbare Darstellung der Unsicherheit. Die erste analysierte Studie ist die von Retchless & Brewer (2016). Die Autoren haben nach einer geeigneten Darstellung der Unsicherheit für eine bivariate Karte gesucht, die die Temperaturentwicklung visualisieren soll. Um die Temperaturentwicklung und deren Unsicherheit auf der gleichen Karte zu visualisieren, haben die Autoren zwei verschiedene Möglichkeiten getestet. Zum einen haben sie Karten hergestellt, in denen sowohl die Temperaturentwicklung wie auch die Unsicherheit mit Farbe dargestellt wurden. Dabei wurde der Farbton (für die Temperaturentwicklung) entweder mit Farbhelligkeit oder Farbsättigung (für die Unsicherheit) kombiniert. Somit wurde die Unsicherheit visuell integral zu der Temperaturentwicklung dargestellt. Bei der zweiten Möglichkeit wurde die Temperaturentwicklung mit Farbton dargestellt, während die Textur auf Unsicherheit hindeutete. Für die Textur wurden Linien, Punkte und Vierecke benutzt. Diese Methode erlaubt es, die Unsicherheit visuell trennbar von den Daten darzustellen. Zwei Beispiele dazu sind in Abbildung 11 ersichtlich.

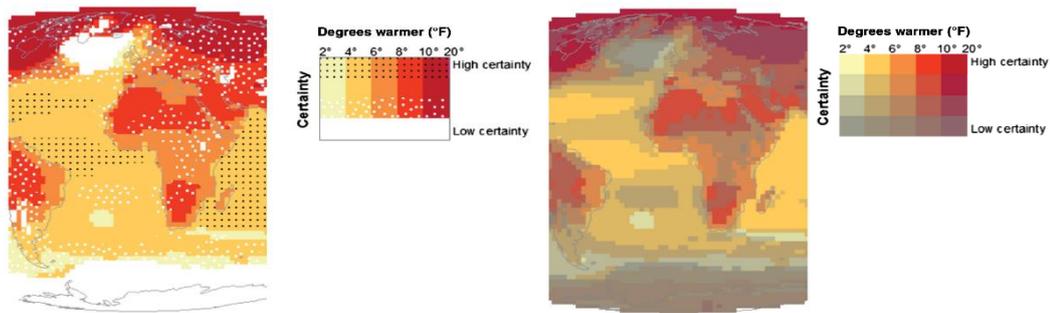


Abbildung 11: Linke Karte Temperaturentwicklung und deren Unsicherheit mit den zwei graphischen Variablen Farbton und Textur. Rechte Karte Temperaturentwicklung und deren Unsicherheit mit den zwei graphischen Variablen Farbton und Farbsättigung (Retchless & Brewer, 2016)

Retchless & Brewer (2016) wollten herausfinden, welche Art der Darstellung sich am besten für die Visualisierung von Unsicherheit eignet. Dafür haben sie eine Studie durchgeführt, in der die Teilnehmenden sieben auf einer Karte angegebene Regionen von der sichersten zur unsichersten Region rangieren mussten. Die Autoren haben herausgefunden, dass die Testpersonen die Unsicherheit und Temperaturentwicklung am besten auseinanderhalten konnten, wenn die zwei graphischen Variablen Farbton und Textur verwendet wurden. Mit dieser Art der Darstellung, erzielten die Teilnehmenden die besten Resultate, unabhängig davon, ob die Unsicherheit mit Linien, Punkten oder Vierecken dargestellt wurde. Retchless & Brewer (2016) sind aber der Meinung, dass, wenn man die primäre Information (in diesem Fall die Temperaturentwicklung) in Gebieten mit hoher Unsicherheit verdecken möchte, die farbbasierte Visualisierung dafür besser geeignet ist.

Diese Resultate bestätigen die Erkenntnisse aus einer früheren Arbeit von MacEachren et al. (1998). In ihrer Studie haben die Autoren verschiedene Karten mit der Sterberate in den USA und die dazugehörige Zuverlässigkeit hergestellt. Zuverlässigkeit entspricht einer Komponente der Unsicherheit, wie in Kapitel 2.1 ersichtlich ist. Die Sterberate wurde in allen Karten mit einem Farbschema dargestellt. Die Zuverlässigkeit wurde zum Teil visuell separat von der Sterberate dargestellt, indem eine Textur gebraucht wurde. Bei anderen Karten wurde die Zuverlässigkeit mit Farbton oder Farbsättigung visualisiert, also visuell integral zu den Daten. Die Testpersonen mussten, mithilfe der verschiedenen Karten, die Regionen mit der höchsten Sterberate und der höchsten Zuverlässigkeit ermitteln. Die Autoren haben herausgefunden, dass die Testpersonen die visuell separate Darstellung mit Farbe und Textur als angenehmer empfunden haben. Die Testpersonen konnten diese Kartenvariante besser lesen. Bei der visuell integralen Variante war es für die Testpersonen schwieriger die Unsicherheit von der Information zur Sterberate zu unterscheiden.

Generell kann man sagen, dass die visuell trennbare Variante hilfreicher ist, wenn man die primäre Information und die Unsicherheit separat analysieren möchte. Die visuell integrale Visualisierung ist hingegen nützlicher, wenn man die Unsicherheit in Kombination mit den primären Daten untersuchen muss.

2.4.3. Bivariate / univariate Karte für die Visualisierung der Unsicherheit

Wie schon erwähnt, kann die Unsicherheit entweder auf der gleichen Karte wie die primäre Information dargestellt oder mit einer separaten Karte vermittelt werden. Bei letztere Variante, der univariaten Karte, ermöglicht der Vergleich zwischen den zwei Karten herauszufinden, wo die Daten unsicher sind. Der Vorteil dieser Visualisierung ist, dass die Karte nicht überfüllt ist (Kinkeldey et al., 2014a). Diese Art der Darstellung erfordert aber mehr Augenbewegungen, um die zwei Karten zu vergleichen, was für den Kartennutzenden anstrengend sein kann. Die bivariate Karte hingegen kann schnell überfüllt wirken (Kinkeldey et al., 2014a). Die zwei räumlichen Informationen müssen so dargestellt werden, dass die Kartennutzenden sie noch unterscheiden können, der Zusammenhang zwischen ihnen aber trotzdem noch erkennbar ist (Retchless & Brewer, 2016). Verschiedene Forscher haben sich deshalb mit der Frage befasst, welche Darstellungsart am besten für die Visualisierung der Unsicherheit geeignet ist.

Den Anfang machten MacEachren et al. (1998). Sie verglichen bivariate mit univariaten Karten. Zu diesem Zweck wurde eine Studie durchgeführt. Wie in Kapitel 2.4.2 schon gesehen, mussten die Teilnehmenden die Regionen mit der höchsten Sterberate und der höchsten Zuverlässigkeit der Daten ermitteln. Die Teilnehmenden haben angegeben, dass sie für die Aufgabe lieber die univariate Variante brauchen, weil diese einfacher zu interpretieren ist. MacEachren et al. (1998) haben aber festgestellt, dass die Anzahl korrekter Antworten mit der bivariaten Karte mit jener der univariaten Karte vergleichbar ist.

Auch Viard et al. (2011) haben bivariate mit univariaten Karten verglichen. Die Autoren haben eine Karte für eine geologische Analyse hergestellt. Mit der graphischen Variabel Farbton wurde der Druck des Erdöls dargestellt. In der bivariaten Karte wurde die Unsicherheit des Drucks mit einem Muster in Kombination von Transparenz dargestellt. Je unsicherer ein Gebiet, desto deutlicher ist das Muster zu sehen. Bei den univariaten Karten wurde die Unsicherheit mit Farbton dargestellt. Die zwei Varianten sind in Abbildung 12 ersichtlich.

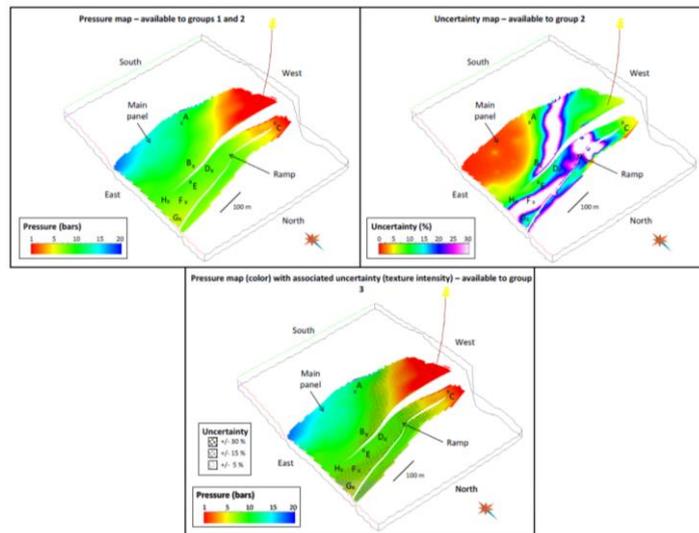


Abbildung 12: Oben Links: durchschnittlicher Druck mit Farbton dargestellt, rechts: Unsicherheit des Drucks, ebenfalls mit Farbton dargestellt; unten: Bivariate Karte in welcher der Druck mit Farbton dargestellt ist und Unsicherheit mittels einer Kombination von Textur und Transparenz visualisiert ist (Viard et al., 2011)

Mithilfe der zwei Testkarten (bivariat / univariat) mussten die Teilnehmenden der Studie zwei Aufgaben lösen. Zuerst mussten sie angeben, welchen der zwei Standorte A und B (auf den Karten eingezeichnet) einem höheren Risiko von Überdruck ausgesetzt ist. Anschliessend wurden sie gebeten, die Standorte D bis H (auch auf den Karten eingezeichnet) vom kleinsten zum höchsten Risiko von Überdruck zu ordnen. Die Resultate ergaben für die erste Aufgabe keinen Unterschied zwischen den Benutzenden der univariaten Karten und jenen der bivariaten Karte. Die Testpersonen konnten die Aufgabe gleich gut lösen. Bei der zweiten Aufgabe haben die Autoren signifikante Unterschiede gefunden. Probanden, welche die bivariate Karte genutzt haben, konnten öfters korrekt antworten, als jene, welche mit den univariaten Karten gearbeitet haben. Die Autoren sind der Meinung, dass diese Unterschiede durch die Komplexität der Aufgabe verursacht werden. Aufgabe 1 war relativ einfach, somit konnte man diese auch mit den univariaten Karten lösen. Die zweite Aufgabe erforderte hingegen eine komplexere multiple Standortbeurteilung, die nicht mit den univariaten Karten lösbar war, weil es kognitiv zu überfordernd war. Viard et al. (2011) sind also der Meinung, dass für eine simple Aufgabe beide Darstellungsvarianten geeignet sind. Für komplexere Aufgaben wird aber nur der Gebrauch von bivariaten Karten empfohlen (Viard et al., 2011).

Es gibt noch weitere Studien, die einen Vergleich zwischen univariaten und bivariaten Karten aufzeigen, wie z.B. die von Edwards & Nelson (2001) oder von Kubíček & Šašinka (2011). Die Arbeiten bezeugen, dass beide Varianten ihre Berechtigung in der Anwendung haben. MacEachren et al. (1998) haben festgestellt, dass in ihrem Fall die Testpersonen besser mit der univariaten Karte umgehen konnten. Viard et al. (2011) hingegen haben festgestellt, dass bei komplexen Aufgaben die Teilnehmenden mit der bivariaten Karte häufiger die korrekte Antwort angegeben haben. Aufgrund dieser Studien kann man feststellen, dass univariate Karten vor allem geeignet sind, wenn die Ermittlung von einzelnen Werten gefragt ist. Für komplexere Aufgaben, die mehr Augenbewegungen erfordern, wird der Gebrauch von bivariaten Karten empfohlen. Mit diesen Karten ist es einfacher die primäre Information und die

dazugehörige Unsicherheit gleichzeitig zu ermitteln. MacEachren et al. (2005) sind hingegen anderer Meinung. Sie halten fest, dass bivariate Karten nur nützlich sind, wenn die Benutzenden durch Interaktivität kontrollieren können, ob die Daten oder die Unsicherheit visuell dominant sein soll (MacEachren et al., 2005).

2.4.4. Visualisierung der Unsicherheit mit Animation

Die Darstellungsmethoden, die in den letzten Kapiteln erläutert wurden, sind statische Visualisierungen der Unsicherheit. Es gibt aber auch Studien, welche die Visualisierung von Unsicherheit durch Animation getestet haben. Die Karten sind also nicht mehr statisch, sondern sie werden dynamisch. Die Kartennutzenden können in manchen Fällen mit der animierten Karte interagieren und somit entscheiden, was visualisiert werden soll.

Das wahrscheinlich berühmteste Beispiel, bei dem Animation für die Darstellung von Unsicherheit eingesetzt wurde, ist das von Fisher (1993). Er war einer der ersten, der diese Methode angewendet hat (MacEachren et al., 2005). Fisher (1993) befasste sich mit der Klassifikation von Böden und der Bodenbedeckung. Für die verschiedenen Kategorien der Bodenklassifikation wurde die graphische Variable Farbton benutzt. Die Unsicherheit wurde mithilfe der dynamischen Variable «Dauer» repräsentiert. In den Regionen, die mit hoher Sicherheit einer Bodenklasse zugeteilt wurden, war die Farbe konstant. In den Rasterzellen, in welchen die Unsicherheit erhöht war, blinkte die Farbe zwischen den Tönen der möglichen Kategorien. Somit hat Fisher (1993) mit einer langen «Dauer» der gleichen Farbe hohe Sicherheit repräsentiert, während ein schnelles Blinken zwischen verschiedenen Farbtönen auf Unsicherheit hindeutete.

Ein ähnliches Verfahren hat auch Evans (1997) angewendet. Auch in diesem Fall ging es um die Klassifikation der Landnutzung. Die Autorin hat eine Visualisierung zusammengestellt bei der man zwischen zwei Ansichten wechseln kann: Einer Karte nur mit der Klassifikation der Landnutzung und einer Karte mit der Darstellung der Unsicherheit der Klassifikation. Da das Umschalten zwischen den zwei Karten regelmässig war, diente die Dauer nicht als Mass der Unsicherheit wie bei Fisher (1993). Evans (1997) hat herausgefunden, dass die Art der Visualisierung sowohl für Experten als auch für Laien gut verständlich ist. Die Anzahl korrekter Antworten unterscheidet sich nicht zwischen der animierten und der statischen Karte. Ausserdem hat Evans (1997) festgestellt, dass die Testpersonen genau gleich lang mit der dynamischen wie mit der statischen Karte gebraucht haben um herauszufinden, welche Ausschnitte zuverlässiger waren. Einige Teilnehmende ihrer Studie empfanden jedoch das Blinken als störend und nervend. Aus diesem Grund weist Evans (1997) darauf hin, dass man die Geschwindigkeit des Blinkens, die Anzahl, die Grösse und die Verteilung der blinkenden Objekte sowie die Art und die Anzahl der Informationen, welche man repräsentieren möchte, gründlich überdenken muss.

Aerts et al. (2003) haben in ihrer Studie einen Vergleich zwischen einer statischen und einer dynamischen Karte durchgeführt. Die Testpersonen mussten anhand der statischen oder der dynamischen Karte Fragen zur Entwicklung der Stadt Santa Barbara beantworten. In der statischen Variante wurde die

Ausdehnung der Stadt im Jahr 2050 und die dazugehörige Unsicherheit in zwei verschiedenen Karten visualisiert. Die Unsicherheit der Ausdehnung wurde mit Farbhelligkeit dargestellt (siehe Abbildung 13).

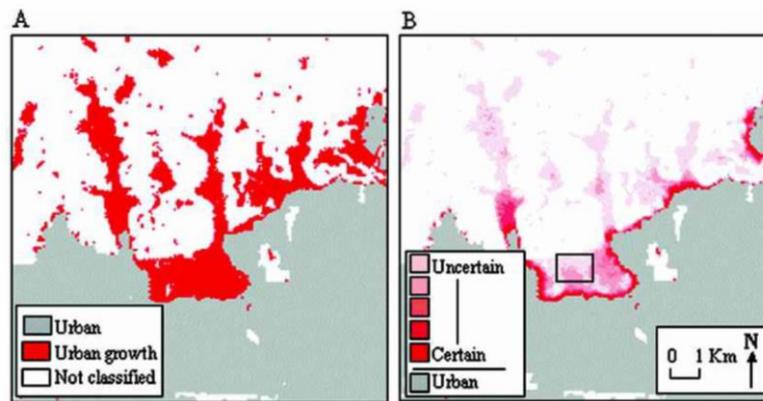


Abbildung 13: Statische Darstellung der Stadtentwicklung von Santa Barbara, Kalifornien, im Jahr 2050 (links) und die dazugehörige Unsicherheit (rechts) (Aerts et al., 2003).

Die dynamische Variante hingegen ist sehr ähnlich zu der von Evans (1997). Aerts et al. (2003) nennen ihre Methode «toggling». Es handelt sich hierbei um ein Hin- und Herschalten zwischen der Darstellung der Ausdehnung der Stadt und der der Unsicherheit. Die Autoren haben herausgefunden, dass die Testpersonen die Unsicherheit in einer Region (siehe schwarzes Rechteck in Abbildung 13 rechts) mit der statischen Variante besser schätzen können als mit der dynamischen Variante. Ausserdem haben mehr als 70% der Teilnehmenden die statische Darstellung bevorzugt. Das schnelle Umschalten wurde zum Teil als lästig empfunden (Aerts et al., 2003).

Eine dynamische Darstellung der Unsicherheit muss nicht unbedingt graphisch sein (MacEachren et al., 2005). Fisher (1994, zit. in MacEachren et al., 2005) hat eine Rasterdarstellung entwickelt, in der man ein oder mehrere Pixel auswählen kann und die dazugehörige Unsicherheit hören kann. Eine ähnliche Arbeit haben Lodha et al. (1996) durchgeführt. Sie haben eine Software entwickelt, mit der die Sonifikation der Qualität der Daten möglich ist. Mit der Sonifikation ist eine klangliche Repräsentation von numerischen Daten möglich. Lodha et al. (1996) behaupten, dass dieses Design dazu dienen soll, die graphische Überlastung der Karte zu verhindern. Die Autoren präsentieren aber keine Resultate von Benutzerstudien um ihre Aussage zu unterstützen (MacEachren et al., 2005). Es ist also fraglich, ob die Sonifikation der Unsicherheit tatsächlich effektiv ist.

Wie aus den vorgestellten Studien erkennbar, gibt es gewisse Hinweise, dass die Visualisierung der Unsicherheit durch Animation in einigen Fällen nützlich sein könnte, vor allem wenn eine statische Visualisierung nicht realisierbar ist. Blenkinsop et al. (2000) schlagen den Gebrauch von Animation in spezifischen Fällen vor, z.B. um einen ersten Überblick der Unsicherheit der Daten zu gewinnen. Damit die Visualisierung der Unsicherheit mit Animation eine anerkannte Technik wird, braucht es aber noch Beweise, die besagen, dass animierte Darstellungen gleich gut oder sogar besser sind als statische Darstellungen (Kinkeldey et al., 2014a).

2.5. Verlauf einer generischen Entscheidung unter Unsicherheit

Wie eben gesehen, hat sich die Forschung stark darauf konzentriert, wie man Unsicherheit von geographischen Daten in einer Karte darstellen kann. Oftmals werden Karten eingesetzt, um wichtige Entscheidungen zu treffen. Dabei wird die Information zur Unsicherheit als eine weitere Unterstützung bei der Analyse von räumlichen Daten betrachtet (Keuper, 2004). Wie aber geht der Entscheidungstragende mit der Unsicherheit um? Welchen Einfluss hat die Visualisierung von Unsicherheit auf die Entscheidung und wie wird die Unsicherheit im Entscheidungsprozess miteinbezogen?

Bevor auf diese Fragen in Kapitel 2.6 näher eingegangen wird, ist es wichtig zu verstehen wie eine generelle Entscheidung ohne und mit Unsicherheit abläuft. Darauf wird in diesem Kapitel näher eingegangen. Die hier vorgestellten Theorien sind nicht Geographie-spezifisch, sondern sind für alle Arten von Entscheidungen anwendbar.

Für Beach (1985, zit. in Keuper, 2004) besteht eine generische Entscheidung aus folgenden Aktionen: Die Bewertung von verschiedenen Alternativen, die Korrektur der Vorgehensweise und die Auswahl der wünschenswerten Vorgehensweise. Die Entscheidungsfindung wird somit generell als eine Reihenfolge von verschiedenen Schritten betrachtet. Crozier & Raynard (1997) beschreiben diese Schritte als Erfassung der Informationen, Formulierung des Problems, Entscheidungsfindung und Rechtfertigung oder Bewertung des Ergebnisses. Es gibt noch weitere Modelle, die den Prozess der Entscheidungsfindung auf verschiedene Weisen erklären. Ich stütze mich in dieser Arbeit auf die Definitionen von Beach (1985, zit. in Keuper, 2004) und Crozier & Raynard (1997).

Da in dieser Arbeit der Prozess der Entscheidungsfindung mit unsicheren Informationen untersucht wird, ist es wichtig zu verstehen, wie der Entscheidungstragende vorgeht, wenn Unsicherheit vorhanden ist. In einer Entscheidung tritt Unsicherheit auf, wenn die möglichen Ergebnisse alle eine andere Wahrscheinlichkeit besitzen oder diese unbekannt ist und deshalb ein gewisses Risiko für den Entscheidungstragenden vorhanden ist. Bei einem rationalen Verhalten sollte das Ziel des Entscheidungstragenden bei unsicheren Informationen die Wahl des besten Ergebnisses sein (Von Neumann & Morgenstern, 1947). Deshalb besagt eine Theorie nach Von Neumann & Morgenstern (1947), dass der Entscheidungstragende das Nutzen oder die Vorteile für sich selbst zu maximieren versucht, während hingegen die negativen Konsequenzen minimiert werden. Von Neumann & Morgenstern (1947) schlagen vor, dass der Entscheidungstragende mit unsicheren Informationen den Erwartungswert (auf Englisch «expected value») der potenziellen Ergebnisse maximieren will. Das Kriterium, wie die verschiedenen Alternativen verglichen werden, hängt sehr von der Entscheidung selber ab. Als Beispiel schlägt Keuper (2004) die Karriereauswahl vor. Hier wird das Nutzen durch die finanzielle Belohnung dargestellt. Wenn der Entscheidungstragende den Vorteil seiner Entscheidung maximieren will, müsste er das Jobangebot mit dem höchsten Lohn auswählen (Keuper, 2004). Bei einem Hauskauf hingegen stellt die emotionale Belohnung den Nutzen dar, der maximiert werden muss (Keuper, 2004).

Diese Theorie zur Entscheidungsfindung nach Von Neumann & Morgenstern (1947) hat aber bei einigen Forschern gewisse Skepsis verursacht. Tatsächlich gibt es Studien, die aufzeigen, dass sich das

reale Verhalten eines Entscheidungstragenden von dem durch das Modell nach Von Neumann & Morgenstern (1947) erwartete Ergebnis unterscheidet (Keuper, 2004). Simon (1956) ist deshalb der Meinung, dass die Theorie nach von Neumann & Morgenstern (1947) kognitiv zu kompliziert ist. Nach Simon (1956) ist der Entscheidungstragende kognitiv nicht in der Lage, die verschiedenen Entscheidungsalternativen gegeneinander abzuwägen und schliesslich diejenige zu wählen, welche den Vorteil für sie oder ihn maximiert. Der Autor ist deshalb der Meinung, dass Entscheidungstragende sich auf Heuristik verlassen. Heuristik sind informelle Entscheidungsregeln, die den Prozess der Evaluation von verschiedenen Ergebnissen unter Unsicherheit vereinfachen (Simon, 1956).

Zwei Forscher, die sich intensiv mit Heuristik befasst haben, sind Daniel Kahneman und Amos Tversky. In ihrem Werk «Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases» (1974) haben die zwei Forscher eine Reihe von heuristischen Vorgehensweisen vorgestellt, die bei Entscheidungen unter Unsicherheit angewendet werden. Es wird eigentlich erwartet, dass Heuristik nur von Laien eingesetzt wird, da diese den Umgang mit Unsicherheit nicht gewohnt sind. Kahneman & Tversky (1974) halten aber fest, dass auch Experten Heuristik einsetzen. Eigentlich wird erwartet, dass Experten ohne den Gebrauch von Heuristik mit probabilistischen Entscheidungen zurechtkommen sollten. Dies konnte aber nicht festgestellt werden (Kahneman & Tversky, 1974).

Des Weiteren haben Kahneman & Tversky (1974) festgestellt, dass Heuristik in manchen Fällen nützlich sein kann. Es kann aber auch zu systematischen Fehlern oder Verzerrungen führen, wie im Folgenden aufgezeigt wird. Eine Auswahl heuristischer Vorgehensweisen werden nun vorgestellt. Die ersten drei basieren auf dem Werk von Kahneman & Tversky (1974) die restlichen auf dem von Payne et al. (1993).

Repräsentativitätsheuristik

Die Repräsentativitätsheuristik wird eingesetzt, um den Zusammenhang zwischen zwei Objekte zu schätzen. Diese Heuristik erlaubt es folgende Fragen zu beantworten: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass A zur Kategorie B gehört? Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis A aus Prozess B entsteht? Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Prozess B das Ereignis A erzeugt? Die Wahrscheinlichkeiten werden anhand der Ähnlichkeit oder der Repräsentativität zwischen A und B geschätzt. Je höher die Ähnlichkeit zwischen A und B, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit eingeschätzt, dass A von B stammt. Dieses Vorgehen kann aber zu beträchtlichen Fehlern führen. Die Wahrscheinlichkeit wird nicht nur von der Ähnlichkeit beeinflusst, sondern auch von weiteren Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Beispielfaktoren sind:

- **Die A-priori Wahrscheinlichkeit oder die Prävalenz von A in der Grundgesamtheit:** Wenn A in der Grundgesamtheit sehr selten vorkommt, wird das durch den Faktor Ähnlichkeit nicht berücksichtigt.

- **Grösse der Stichprobe:** Diese spielt eine wichtige Rolle bei der Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten. In kleineren Stichproben ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sie von der Grundgesamtheit abweicht. In grösseren Stichproben ist dies nicht der Fall.
- **Spielerfehlschluss:** Der Entscheidungstragende hat die falsche Vorstellung, dass ein zufälliges Ereignis wahrscheinlicher wird, wenn es lange nicht vorkommt. Ein Beispiel ist der Wurf der Münze. Wenn Kopf zehnmal in Folge vorkommt, haben Menschen das Gefühl, dass das Ereignis Zahl nun wahrscheinlicher wird. Die Wahrscheinlichkeit bleibt aber 50 zu 50.

Es gibt noch weitere Faktoren, die bei der Einschätzung von Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden müssen, die in dieser Arbeit aber nicht weiter erläutert werden (Kahneman & Tversky, 1974).

Verfügbarkeitsheuristik

Diese Heuristik wird eingesetzt, wenn man die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses schätzen muss. Bei der Beurteilung durch die Verfügbarkeitsheuristik werden die eigenen Erfahrungen und Erinnerungen eingesetzt. Kahneman & Tversky (1974) erklären diese Heuristik an folgendem Beispiel: Jemand schätzt das Risiko eines Herzinfarkts anhand der Anzahl Fälle im eigenen Bekanntenkreis. Je höher die Anzahl Fälle, die man in Erinnerung hat, desto höher ist die geschätzte Wahrscheinlichkeit.

Auch in diesem Fall gibt es Verzerrungen. Es gibt z.B. Dinge, an denen man sich besser oder einfacher erinnern kann, weil sie wichtiger sind, man sie selbst erlebt hat oder weil sie vor Kurzem geschehen sind. Man hat deshalb das Gefühl, dass diese Ereignisse öfters vorkommen. Somit kann es geschehen, dass man die Wahrscheinlichkeit eines Vorkommnisses falsch einschätzt (Kahneman & Tversky, 1974).

Ankerheuristik

Bei dieser Heuristik werden Schätzungen anhand eines Anfangswert, welcher auch Anker genannt wird, gemacht. Dieser Anfangswert wird dann so angepasst, dass es die schlussendliche Antwort ergibt. Der Anker wird entweder durch die Formulierung des Problems angegeben oder er wird berechnet. Es wurde festgestellt, dass verschiedene Anker zu verschiedenen Einschätzungen führen, die in Richtung des Anfangswertes verzerrt sind.

Folgendes Beispiel sollte die Ankerheuristik deutlicher machen. Zwei Gruppen von Studenten wurden gebeten, das Resultat einer Rechnung in fünf Sekunden einzuschätzen. Die erste Gruppe sah folgende Rechnung:

$$8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$$

Während die zweite Gruppe folgende Rechnung sah:

$$1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8$$

Beide Berechnungen ergeben natürlich das gleiche Resultat. Um schnell das Resultat einschätzen zu können, führten die Studenten die ersten paar Schritte der Multiplikation durch. Dadurch ergibt sich ihr Ankerwert. Das schlussendliche Resultat wird anhand diese Ankerwerts geschätzt. Wenn man die ersten Schritte der Multiplikation von links nach rechts durchführt, berechnet die erste Gruppe einen höheren

Ankerwert als die zweite Gruppe. Tatsächlich hat die erste Gruppe im Mittel den Wert der ganzen Multiplikation besser eingeschätzt als die zweite Gruppe. Die erste Gruppe hat also den Anfangswert nicht genug angepasst, um das tatsächliche Resultat richtig zu schätzen (Kahneman & Tversky, 1974).

Gewichtete additive Heuristik und Gleichgewichtsheuristik

Diese Heuristik wird eingesetzt, wenn man sich zwischen verschiedenen Alternativen entscheiden muss. Die Werte der relevanten Attribute oder Kriterien aller Alternativen werden dabei berücksichtigt. Allen Kriterien wird eine Bedeutung, also eine Gewichtung, zugeschrieben. Die Gewichtung kann sich zwischen den Attributen unterscheiden. Diese Wertungen werden für jede Alternative wie folgt zusammen summiert (Keuper, 2004):

$$\text{Bewertung der Alternative} = (g_{K1}w_{K1} + g_{K2}w_{K2} + g_{K3}w_{K3} + \dots + g_{Kn}w_{Kn}) \quad (1)$$

Wobei: g = Gewicht oder Bedeutung jedes Kriteriums

w = Wert des Kriteriums der spezifischen Alternative

K = Kriterium 1, Kriterium 2, ...

Dabei sollte die Alternative mit der höchsten Bewertung ausgewählt werden. Wie Payne et al. (1993) spezifizieren, ist diese Vorgehensweise relativ anspruchsvoll. Um die gewichtete additive Heuristik zu vereinfachen, wird auch die gleichgewichtete Heuristik eingesetzt. Bei der gleichgewichteten additiven Heuristik wird die Bedeutung der Kriterien nicht berücksichtigt, alle Kriterien haben die gleiche Gewichtung. Um eine Bewertung der Alternativen zu erhalten, wird wie in Gleichung (1) vorgegangen, ausser dass keine Gewichte verwendet werden (Payne et al., 1993).

Attributweise Eliminationsregel

Auch in diesem Fall muss sich der Entscheidungstragende zwischen verschiedenen Alternativen entscheiden. Dabei legt der Entscheidungstragende zuerst fest, welches Kriterium das Wichtigste ist. Dann wird ein Schwellenwert für dieses Kriterium definiert. Damit eine Alternative berücksichtigt wird, muss das Kriterium den Schwellenwert nicht unter- oder überschreiten. Alle Alternativen, die das Kriterium nicht erfüllen, werden direkt eliminiert. Dann wird das zweitwichtigste Kriterium betrachtet. Die Vorgehensweise ist die gleiche wie vorgenannt. Es wird ein Schwellenwert festgelegt und alle übriggebliebenen Alternativen, die dieses Kriterium nicht erfüllen, werden eliminiert. Das Vorgehen wird wiederholt, bis nur noch eine Alternative übrigbleibt, welche gewählt wird. Dieses Verfahren widerspricht aber der Idee, dass man bei einer Entscheidung eigentlich alle wichtige Informationen gleichzeitig berücksichtigen sollte (Payne et al., 1993).

In diesem Kapitel wurde erklärt, wie die Entscheidungsfindung generell und unter Unsicherheit funktioniert. Es wurde erläutert, dass eine generelle Entscheidung aus mehreren organisierten Schritten besteht. Bei Entscheidungen unter Unsicherheit hingegen wird Heuristik angewendet. Heuristik sind informelle Entscheidungsregeln, die den Prozess der Entscheidungsfindung vereinfachen sollen (Simon,

1956). Es gibt verschiedene heuristische Vorgehensweisen, die aber zu unterschiedlichen Verzerrungen einer Entscheidung führen können (Kahneman & Tversky, 1974).

2.6. Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf Entscheidungen

In diesem Kapitel wird versucht die Theorien aus Kapitel 2.5 bezüglich Entscheidungen unter Unsicherheit in einem geographischen Kontext einzubinden. Ziel ist es zu verstehen, wie die Visualisierung der Unsicherheit in einer Karte eine Entscheidung beeinflusst.

Wie in Kapitel 2.4 gesehen, gibt es viele verschiedene Möglichkeiten Unsicherheit darzustellen. Bevor man aber diese Methoden praktisch anwenden kann, muss das Potential dieser Visualisierungen getestet werden (MacEachren, 1992). Konkret kann man sich fragen, wie die verschiedenen Darstellungen Entscheidungen, Mustererkennung oder hypothesengenerierende Verfahren verändern (MacEachren, 1992). Vor allem die Frage, welchen Einfluss die Visualisierung von Unsicherheit auf Entscheidungen hat, wurde bisher noch nicht umfassend untersucht (Kinkeldey et al., 2015b). Die in Kapitel 2.4 vorgestellten Studien haben sich vor allem damit befasst, geeignete Darstellungen für die Visualisierung der Unsicherheit zu finden. In den nächsten Kapiteln werden hingegen Studien präsentiert, die sich mit dem Einfluss der Visualisierung von Unsicherheit auf die Entscheidungsfindung und die Risikoeinschätzung befasst haben. Auch in diesem Fall liegt der Fokus auf Arbeiten aus dem geographischen Forschungsbereich.

Um die optimale Visualisierung der Unsicherheit zu finden, wurden Studien mit relativ einfachen Aufgaben durchgeführt (siehe Kapitel 2.4). Um den Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf Entscheidungen zu ermitteln, mussten die Teilnehmenden der Studien viel komplexere Aufgaben lösen. Eine komplexere Aufgabe beinhaltet z.B., dass die Testperson die primäre Information in Kombination mit der Unsicherheit analysieren muss und nicht separat damit arbeiten kann (Kinkeldey et al., 2015b). Diesbezüglich definieren Kinkeldey et al. (2015b) zwei Kategorien an komplexeren Aufgaben. Die erste Aufgabekategorie ist die objektive Bewertung. Sie hat zum Ziel herauszufinden, ob man mit der Visualisierung der Unsicherheit schnellere und genauere Entscheidungen trifft oder ob sich das Ergebnis einer Entscheidung unterscheidet.

Mit der zweiten Aufgabekategorie versuchen die Forscher zu ergründen, ob sich die Wahrnehmung (z.B. des Risikos) einer Person zwischen einer Entscheidungsgrundlage mit oder ohne Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet (Kinkeldey et al., 2015b). Des Weiteren ist es möglich anhand dieser Aufgabekategorie zu ermitteln, ob sich das Selbstvertrauen einer Entscheidung verändert. Dies wird mittels subjektiver Einschätzung ermittelt (Kinkeldey et al., 2015b). Einige Studien haben auch untersucht, wie sich der Prozess der Entscheidungsfindung mit der Visualisierung der Unsicherheit verändert. Des Weiteren wurde auch der Einfluss der Erfahrung in einem gewissen Bereich bei Entscheidungen unter Unsicherheit analysiert. In den nächsten Kapiteln wird auf diese Aspekte einzeln eingegangen.

2.6.1. Einfluss auf die Entscheidungsleistung

In diesem Kapitel wird auf die Erkenntnisse der Forschung bezüglich dem Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf die Leistung einer Entscheidung näher eingegangen. Die bestehende Forschung definiert die Leistung einer Entscheidung durch mehrere Faktoren. In dieser Arbeit werde ich folgende Faktoren berücksichtigen: Die Korrektheit der Entscheidung, das Ergebnis der Entscheidung (im Falle, dass es keine richtige oder falsche Antwort gibt), die benötigte Zeit und das Selbstvertrauen bezüglich der Entscheidung.

Korrektheit der Entscheidung

Um zu ermitteln, wie korrekt eine Entscheidung getroffen wurde, muss es in der Aufgabe eine richtige Antwort geben (Kinkeldey et al, 2015b). Ausserdem muss eine Kontrollgruppe vorhanden sein, welche die gleiche Aufgabe ohne Visualisierung der Unsicherheit löst. Aufgrund der bestehenden Forschung kann man feststellen, dass generell einen Effekt der Visualisierung der Unsicherheit auf die Korrektheit einer Entscheidung vorhanden ist. Dieser Effekt kann entweder positiv oder negativ sein.

Einen positiven Effekt auf die Genauigkeit der Entscheidung wurde von Leitner & Buttenfield (2000) gefunden. Die Teilnehmenden ihrer Studie mussten mithilfe von Karten den besten Standort für einen Park und die schlechteste Lokalität für einen Flughafen ermitteln. Der Standort für den Park und den Flughafen musste gewisse vorgegebene Kriterien erfüllen. In gewissen Karten wurde die Sicherheit der Ausdehnung der Feuchtgebiete dargestellt. Leitner & Buttenfield (2000) haben herausgefunden, dass mit der Visualisierung der Sicherheit die Anzahl korrekter Antworten zunimmt. Die Testpersonen haben mithilfe von Karten, in denen die Attributsicherheit dargestellt war, öfters den korrekten Standort für den Park gefunden. Bei der Ermittlung des schlechtesten Standortes für den Flughafen wurde dieser Effekt nicht beobachtet. Die Anzahl korrekter Antworten bei dieser Aufgabe unterscheidet sich nicht zwischen den Karten ohne und mit Visualisierung der Sicherheit. Leitner & Buttenfield (2000) begründen die Abwesenheit eines Unterschieds mit der Komplexität der Aufgabe. Die erste Aufgabe mit dem besten Standort für einen Park war deutlich einfacher zu lösen als die zweite Aufgabe mit dem Flughafen.

Positive Effekte haben auch Andre & Cutler (1998) in ihrer Studie gefunden. Die Studie bestand aus einer Flugsimulation. Auf dem Bildschirm wurde den Testpersonen ein Flugzeug, welches sie steuerten, das Ziel, die Flugroute und ein weiteres Flugobjekt gezeigt. Die Position des Flugobjekts war unsicher dargestellt, z.B. durch Farbton oder Kreise in verschiedenen Grössen. Die Aufgabe der Teilnehmenden war es, eine Kollision mit dem Flugobjekt zu vermeiden und gleichzeitig die Flugroute so wenig wie möglich zu verlassen. Die Autoren haben herausgefunden, dass es weniger Kollisionen gab, wenn die Positionsunsicherheit des Flugobjektes dargestellt wurde. Andre & Cutler (1998) sind deshalb der Meinung, dass mit der Visualisierung der Unsicherheit, die Teilnehmenden öfters korrektere Entscheidungen getroffen haben.

Hope & Hunter (2007b) haben dagegen eher negative Auswirkungen der Visualisierung der Sicherheit auf Entscheidungen festgestellt. Ähnlich wie bei Leitner & Buttenfield (2000) mussten die Teilnehmenden

der Studie den besten Standort für einen Flughafen ermitteln. Auf den gezeigten Karten waren verschiedene Zonen nach ihrer Eignung als Flughafenstandort eingefärbt. Die Sicherheit dieser Zonen wurde extrinsisch mit einem Balken dargestellt. Ein Beispiel ist in Abbildung 14 ersichtlich.

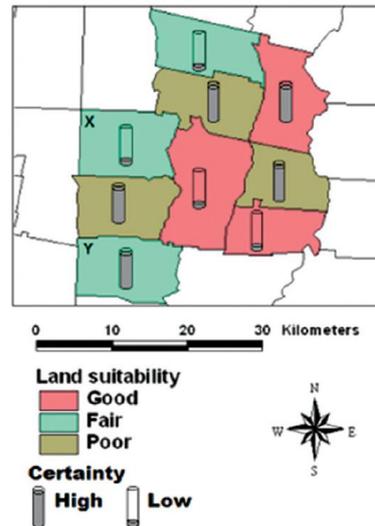


Abbildung 14: Beispielkarte der Studie von Hope & Hunter (2007b). Die Farben stellen die Eignung des Gebiets als Flughafenstandort dar. Die Balken visualisieren die Sicherheit dieser Eignung pro Zone (Hope & Hunter, 2007b)

Ein ausgefüllter Balken deutet auf hohe Sicherheit einer guten Eignung als Standort hin, während ein leerer Balken auf tiefe Sicherheit hindeutet. Die Teilnehmenden mussten sich mithilfe dieser Karten zwischen den Gebieten X oder Y (siehe Abbildung 14) als Standort für einen neuen Flughafen entscheiden. Die Teilnehmenden konnten auch angeben, dass sie keine Prioritäten haben. Es wurden 6 Karten gezeigt, bei denen sich jeweils die Sicherheit der Zonen X und Y unterscheidet. Die Eignungsklassen der Zonen X und Y waren hingegen in manchen Fällen ähnlich und in anderen unterschiedlich.

Die Resultate der Studie von Hope & Hunter (2007b) zeigen, dass, basierend auf den Erwartungswerten der zur Auswahl stehenden Möglichkeiten, die Teilnehmenden unvernünftige oder irrationale Entscheidungen getroffen haben. Tatsächlich haben die Testpersonen tendenziell öfters das Gebiet mit der höheren Sicherheit gewählt, auch wenn es weniger geeignet für den Flughafen war. Die Autoren geben zwei Gründe für diese Entscheidungen an. Zum einem begründen sie die Auswahl damit, dass Menschen generell lieber mit sicheren als mit unsicheren Daten arbeiten, unabhängig vom Erwartungswert (Ellsberg, 2001, zit. in Hope & Hunter, 2007b). Da die Sicherheit binär visualisiert wurde (hohe/tiefe Sicherheit), haben die Probanden eine starke Präferenz für die sichere Wahl entwickelt, auch wenn diese irrational ist.

Als alternative Begründung nennen Hope & Hunter (2007b) die sogenannte «loss aversion», also die «Verlustaversion» von Kahneman & Tversky (1979). Mit diesem Konzept wird die Tatsache beschrieben, dass Menschen stärker unter einem Verlust leiden, als sie den entsprechenden Gewinn schätzen können (Hope & Hunter, 2007b). Im Fall dieser Studie wird der potentielle Verlust in Gebieten mit tiefer Sicherheit als bedeutender gewertet, als die möglichen Vorteile, welche die tiefe Sicherheit erbringen könnte. Hope & Hunter (2007b) erklären, dass nach dem Konzept der Verlustaversion sinnvoller ist, immer die Variante

mit hoher Sicherheit zu wählen, auch wenn diese weniger geeignet ist. Aus dieser Studie kann man schliessen, dass die Visualisierung der Sicherheit die Teilnehmenden dazu verleitet hat, nicht immer die optimalste Variante zu wählen.

Basierend auf den Studien von Leitner & Buttenfield (2000) und Andre & Cutler (1998) könnte man vermuten, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen positiven Effekt auf die Genauigkeit einer Entscheidung hat. Nichtsdestotrotz gibt es auch Erkenntnisse, die aufzeigen, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen negativen Effekt auf die Korrektheit einer Entscheidung haben kann (siehe Hope & Hunter, 2007b).

Nicht nur die Visualisierung der Unsicherheit per se, sondern auch wie die Unsicherheit dargestellt wird, kann einen Einfluss auf die Korrektheit einer Entscheidung haben, wie im Folgenden aufgezeigt wird. Dabei wird nicht die Korrektheit zwischen den Bedingungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit verglichen, sondern zwischen verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit.

Ein Beispiel dazu ist die Studie von Cheong et al. (2016). In ihrer Studie ging es um die Brandgefahr eines Hauses. Die Autoren haben mehrere Karten hergestellt, die die Ausdehnung eines Brandes darstellen. Die Unsicherheit der möglichen Ausdehnung des Brandes wurde mit verschiedenen Visualisierungsarten dargestellt (siehe Abbildung 15).

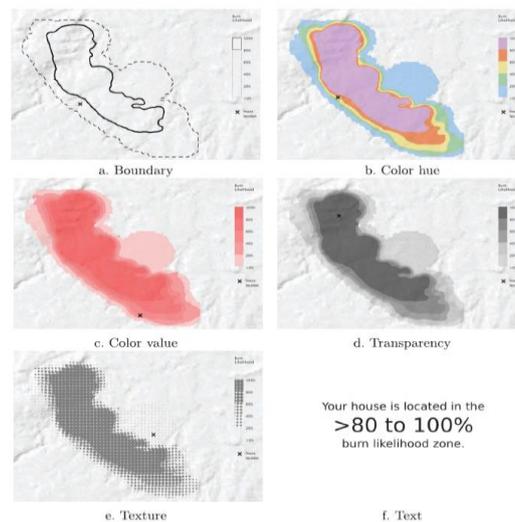


Abbildung 15: Verschiedene Darstellungen der Unsicherheit der Ausdehnung eines Brandes (Cheong et al., 2016)

Es wurden 6 verschiedene Visualisierungsarten für die Darstellung der unsicheren Ausdehnung des Brandes verwendet:

- Zwei verschiedene Grenzen (Boundary): Die zwei Linien geben eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit an
- Farbton
- Farbhelligkeit
- Transparenz

- Textur
- Textform

Auf jeder Karte war ein Kreuz eingezeichnet, welches ein Haus darstellte. Anhand der vorgelegten Karte mussten die Teilnehmenden sich entscheiden, ob sie das Haus verlassen würden oder nicht. Die Autoren haben zu Beginn festgelegt, welche Hauspositionen tatsächlich vom Brand befallen werden und welche nicht. Somit konnten die Autoren die Korrektheit der Antworten vergleichen. Des Weiteren mussten die Teilnehmenden angeben, welche Visualisierungsart sie bevorzugen.

Das Experiment wurde dreimal durchgeführt: Einmal unter «normalen» Bedingungen, einmal unter Zeitdruck und einmal mit Ablenkung. Beim Experiment unter Zeitdruck hatten die Probanden eine begrenzte Zeit, um ihre Entscheidung zu treffen. Beim Experiment mit Ablenkung mussten die Teilnehmenden sich zwischen den Entscheidungen gewisse Sätze merken.

Cheong et al. (2016) haben herausgefunden, dass unter «normalen» Testbedingungen die Teilnehmenden mit der Darstellung in Textform am häufigsten die korrekte Antwort angegeben haben. Ähnlich gut waren die Teilnehmenden mit den Darstellungen Transparenz und Farbton. Bei der Darstellung mit den zwei Grenzen haben die Teilnehmenden hingegen am schlechtesten abgeschlossen. Unter Zeitdruck führte vor allem die Darstellung mit Farbton zu korrekteren Antworten, gefolgt von Textur und Transparenz. Bei der textbasierten Darstellung und der Darstellung mit den zwei Grenzen haben sie die schlechtesten Ergebnisse erzielt. Beim Experiment mit Ablenkung wurden im Vergleich zu den anderen zwei Bedingungen die schlechtesten Resultate über alle Darstellungsvarianten verzeichnet. Cheong et al. (2016) sind der Meinung, dass dieses Experiment zu schwierig war und dass dadurch die Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung nicht mehr berücksichtigt wurde.

Aus diesen Resultaten kann man schliessen, dass die Korrektheit der Entscheidung sich zwischen verschiedenen Darstellungen und Situationen ändert. Cheong et al. (2016) schreiben, dass unter Zeitdruck graphische Darstellungen der Unsicherheit nützlicher sind als textbasierte Darstellungen. Die Aussage wird auch durch die Tatsache unterstützt, dass die Teilnehmenden am längsten für ihre Entscheidung hatten, wenn diese mit der textbasierten Visualisierung getroffen wurde. Wenn man hingegen genügend Zeit für die Entscheidung zur Verfügung hat, kann eine Visualisierung in Textform sehr nützlich sein (Cheong et al., 2016).

Des Weiteren haben Cheong et al. (2016) keinen Zusammenhang zwischen den bevorzugten Visualisierungen und der Korrektheit der Entscheidung festgestellt. Im ersten Experiment, ohne Zeitdruck und Ablenkung, war die unbeliebteste Darstellung die textbasierte. Dieses Resultat ist überraschend, da die Testpersonen mit dieser Darstellung die höchste Anzahl an korrekten Entscheidungen getroffen haben. Aus diesem Grund warnen Cheong et al. (2016) davor, die Vorlieben der Benutzenden als Indikator für die effektivste Darstellung zu sehen.

Es gibt noch weitere Beweise dafür, dass verschiedene Darstellungen der Unsicherheit die Leistung einer Entscheidung beeinflussen können. Wie in Kapitel 2.4.3 schon erwähnt, haben z.B. Viard et al. (2011) in ihrer Studie bivariate mit univariaten Karten verglichen. Dabei haben sie herausgefunden, dass die

Teilnehmenden, im Falle einer komplexen Entscheidungsaufgabe, öfters die korrekte Antwort mithilfe der bivariaten Karten angegeben haben. Es war für die Testpersonen also einfacher, mit einer bivariaten Karte die Daten und die dazugehörige Unsicherheit zu verstehen und einzuschätzen. Auch Andre & Cutler (1998) konnten in ihrer Studie (siehe Kapitel 2.6.1) feststellen, dass die graphischen Visualisierungen zu genaueren und schnelleren Entscheidungen führen, als textbasierte Darstellungen.

Aus diesen Studien kann man die Vermutung aufstellen, dass gewisse Visualisierungen der Unsicherheit sich in einigen Fällen besser eignen als andere. In Abhängigkeit von der Situation und der Thematik, scheinen einige Darstellungen zu korrekteren Entscheidungen zu führen. Ich halte deshalb fest, dass man sich nicht nur fragen muss, ob man Unsicherheit visualisieren soll sondern auch wie man sie darstellen soll, um die Entscheidungstragenden tatsächlich zu unterstützen.

Ergebnis der Entscheidung

Ein weiterer Teil der Forschung hat sich auf den Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf das Ergebnis einer Entscheidung konzentriert. Um diesen Effekt zu ermitteln sind Studien notwendig, in denen es keine richtige oder falsche Antwort gibt. Wie im Folgenden aufgezeigt, weisen die wenigen Papiere, die zu diesem Thema bestehen, darauf hin, dass die Darstellung der Unsicherheit zu andere Entscheidungen führen kann.

Einen Unterschied im Ergebnis der Entscheidung haben unter anderem Deitrick & Edsall (2006) festgestellt. In ihrer Studie wurden den Teilnehmenden mehrere Karten mit einer Zunahme des Wasserverbrauchs pro Region gezeigt. Für einen Teil der Testpersonen wurde die Unsicherheit der Daten dargestellt. Anhand dieser Karten mussten die Teilnehmenden vier Regionen nach ihrer Vulnerabilität bezüglich Wasserverbrauchsänderungen ordnen. Deitrick & Edsall (2006) haben festgestellt, dass die angegebenen Reihenfolgen zwischen den zwei Bedingungen stark variieren. Zum Teil war eine Reihenfolge sehr beliebt bei der einen Gruppe, während sie bei der anderen Gruppe nie vorgekommen ist. Die Visualisierung der Unsicherheit hat die Teilnehmenden dazu verleitet die Vulnerabilität anders zu schätzen. Deitrick & Edsall (2006) sind deshalb der Meinung, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung hat. Leider geben die Autoren keine Begründung für diesen Einfluss an.

Auch Pyysalo & Oksanen (2014) haben festgestellt, dass die Visualisierung der Unsicherheit eine Entscheidung verändern kann. In ihrer Studie mussten die Teilnehmenden bestimmen, zu welchem Entwässerungsgebiet ein eingezeichneter Punkt auf der Karte gehört. Diese Entscheidung mussten die Teilnehmenden immer zweimal für den gleichen Punkt treffen. Das erste Mal mithilfe einer Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit der Entwässerungsgebiete. Beim zweiten Mal wurden die Grenzen der Entwässerungsgebiete unsicher dargestellt. Pyysalo & Oksanen (2014) haben herausgefunden, dass fast 60% der Teilnehmenden ihre anfängliche Entscheidung durch die Visualisierung der Unsicherheit gewechselt haben.

Auch Riveiro et al. (2014) konnten einen Effekt der Visualisierung der Unsicherheit beim Ergebnis einer Entscheidung feststellen. Die Autoren haben eine Studie im Bereich Luftabwehr durchgeführt. Bei

der Luftabwehr muss man oft komplizierte Entscheidungen treffen, meistens steht wenig Zeit zur Verfügung und die Konsequenzen einer falschen Entscheidung können gravierend sein. Aus diesen Gründen haben Riveiro et al. (2014) diese Situation ausgewählt. Die Teilnehmenden der Studie waren Experten im Bereich der Luftabwehr. Den Experten wurde auf dem Bildschirm eine Reihe von Flugobjekten gezeigt. Für jedes Flugobjekt wurden verschiedene Informationen, z.B. Geschwindigkeit, Höhe und Position angegeben. Einem Teil der Testpersonen wurde für jede dieser Informationen auch die dazugehörige Unsicherheit angegeben. Aufgrund der visualisierten Informationen mussten die Teilnehmenden bedrohliche Flugobjekte identifizieren und entsprechend der ausgehenden Gefahr priorisieren.

Riveiro et al. (2014) haben herausgefunden, dass jene Gruppe der Experten, bei denen die Unsicherheit visualisiert wurde, weniger Versuche brauchten um sich zu entscheiden, welches Flugobjekt sie als bedrohlich einstufen würden. Des Weiteren haben diese Teilnehmenden mehr Objekte als bedrohlich identifiziert und höhere Prioritäten zugewiesen. Riveiro et al. (2014) sind der Meinung, dass die Experten, die ihre Entscheidung mithilfe der Visualisierung der Unsicherheit getroffen haben, die Bedrohung der Flugobjekte überschätzt haben. Die Testpersonen haben selber angegeben, dass sie durch die Visualisierung der Unsicherheit wachsamer geworden sind.

Währendem sich die bisher genannten Studien auf den Unterschied zwischen ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit fokussierten, haben sich Hope & Hunter (2007a) hingegen mit dem Einfluss von verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit auf das Ergebnis einer Entscheidung befasst. Dazu haben die beiden Autoren eine Studie durchgeführt. Die Teilnehmenden ihrer Studie sahen eine Karte mit einem Boot sowie die zwei Zonen A und B. Den Teilnehmenden wurde instruiert, dass es verboten war in der Zone B zu navigieren. Das Boot bewegte sich von der Zone A in Richtung der Zone B. Den Teilnehmenden wurde mitgeteilt, dass sie das Kommando des Bootes haben und sich entscheiden müssen, wann sie umkehren würden, bevor sie in Zone B gelangen. Auf der Karte wurde die Unsicherheit der Position des Bootes und der Grenze zwischen Zone A und B auf vier verschiedene Weisen dargestellt (siehe Abbildung 16).

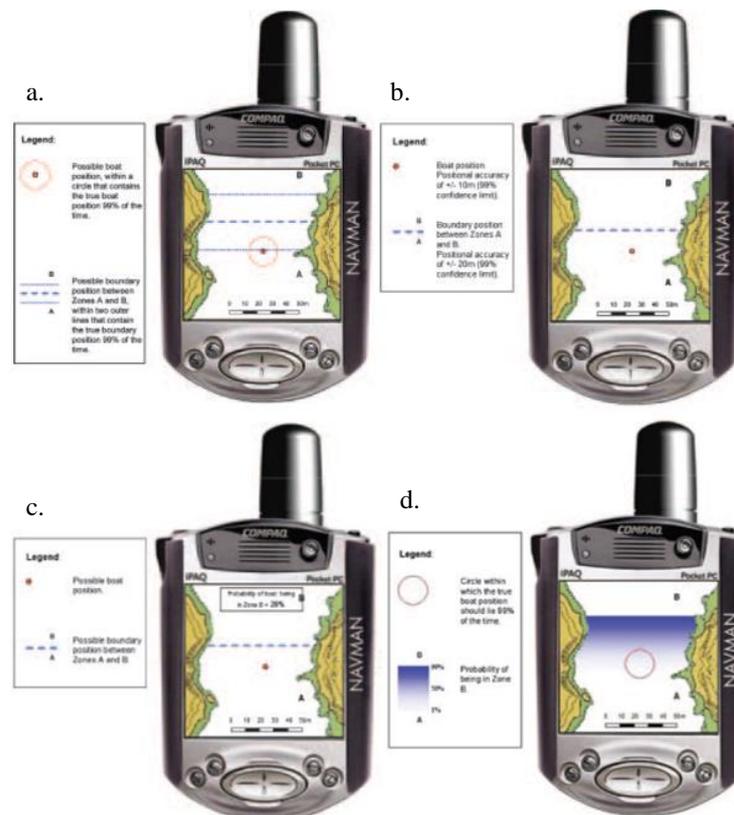


Abbildung 16: Verschiedene Darstellungen für die unsichere Grenze zwischen den Zonen A und B: Limit (a), Skala (b), Wahrscheinlichkeit und Graduation (d) (Hope & Hunter, 2007a)

- Die erste Darstellung wurde «Limit» genannt. Das Boot wurde eingekreist und unter- und oberhalb der Grenze wurden zwei Linien eingezeichnet. Diese sollten die Fläche darstellen, wo sich das Boot und die Grenze möglicherweise befinden könnten.
- Die zweite Darstellung, «Skala», war textbasiert. In der Legende der Karte wurden die Testpersonen darauf hingewiesen, dass sich die Position des Bootes oder der Grenze in einem Bereich von z.B. $\pm 20m$ befindet.
- Eine weitere textbasierte Kommunikation der Unsicherheit war die «Wahrscheinlichkeit». Den Teilnehmenden wurde mitgeteilt, mit welcher Wahrscheinlichkeit (in Prozent) sich das Boot schon in Zone B befindet.
- Zuletzt wurde die Farbhelligkeit («Graduation» genannt) eingesetzt. Je dunkler die Farbe, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass das Boot die Grenze schon überquert hatte.

Hope & Hunter (2007a) konnten feststellen, dass die unterschiedlichen Darstellungen die Entscheidung sehr stark beeinflusst haben. Mit der «Limit»-Darstellung haben die Teilnehmenden sich viel früher dafür entschieden, das Boot zu wenden. Die Autoren begründen dieses Resultat mit der physischen

Eigenschaft der Darstellung. Hope & Hunter (2007a) sind der Meinung, dass die Teilnehmenden die Linie nicht überschreiten wollten und deshalb das Boot wendeten, bevor es die Linie berührte. In den anderen Darstellungen war keine Linie eingezeichnet, was dazu geführt hat, dass die Teilnehmenden das Boot erst später wendeten. Mit der Visualisierung durch «Wahrscheinlichkeit» sind die Teilnehmenden am weitesten in Zone B vorgedrungen. Hope & Hunter (2007a) halten deshalb fest, dass die Art, wie die Unsicherheit dargestellt wird, einen grossen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung haben kann. Ich vermute deshalb, dass mit manchen Darstellungen die Teilnehmenden risikofreudiger sind als mit anderen.

Anhand der vorgestellten Studien kann man vermuten, dass die Visualisierung der Unsicherheit das Ergebnis einer Entscheidung verändert. Entscheidend ist aber, dass nicht nur die Visualisierung der Unsicherheit an sich einen Einfluss haben kann, sondern auch die Art und Weise wie diese Unsicherheit dargestellt wird. Aufgrund der bestehenden Literatur sind Kinkeldey et al. (2015b) der Meinung, dass weitere Forschung in diesem Gebiet nötig ist, um zu verstehen wann und warum das Ergebnis sich verändert.

Benötigte Zeit für die Entscheidung

Ein weiterer Faktor bei der Untersuchung der Entscheidungsleistung ist die benötigte Zeit, d.h. wie lange der Entscheidungstragende für seine Entscheidung gebraucht hat.

Dies haben unter anderem Leitner & Buttenfield (2000) untersucht. Die genaue Beschreibung ihres Experiments ist in «Kapitel Korrektheit der Entscheidung» zu finden. Leitner & Buttenfield (2000) konnten in ihrer Studie keinen signifikanten Zeitunterschied zwischen den Entscheidungen mit Visualisierung der Sicherheit und den Entscheidungen ohne Visualisierung der Sicherheit feststellen. Dieses Resultat hat die beiden Autoren etwas überrascht. Tatsächlich hatten Leitner & Buttenfield (2000) erwartet, dass mit der Visualisierung der Sicherheit die Teilnehmenden länger für ihre Entscheidung brauchen, da sie eine zusätzliche Information bei ihrer Entscheidung berücksichtigen müssen.

Auch Riveiro et al. (2014) konnten in Bezug auf eine komplexere Entscheidung keinen zeitlichen Unterschied zwischen der Bedingung ohne Visualisierung der Unsicherheit und der Bedingung mit Visualisierung der Unsicherheit feststellen. Somit könnte man vermuten, dass die Visualisierung der Unsicherheit auch bei komplexeren Entscheidungen keinen Einfluss auf die benötigte Zeit hat.

Des Weiteren haben Andre & Cutler (1998) entgegen den Erwartungen herausgefunden, dass die Teilnehmenden ihrer Studie sogar schnellere Entscheidungen getroffen haben, wenn die Unsicherheit visualisiert wurde. In der Studie von Andre & Cutler (1998) mussten die Teilnehmenden aber eine einfache Aufgabe lösen.

Leitner & Buttenfield (2000) vermuten aufgrund dieser Resultate, dass die Visualisierung der Unsicherheit keine zusätzliche Komplexität darstellt, sondern dass sie dem Entscheidungstragenden hilfreich sein könnte. Die Erkenntnisse von Andre & Cutler (1998) und Riveiro et al. (2014) bestätigen diese Aussage.

Selbstvertrauen der Entscheidung

Der letzte Faktor für die Messung der Entscheidungsleistung unter Unsicherheit ist das Selbstvertrauen. Kinkeldey et al. (2015b) sind der Meinung, dass verbreitet angenommen wird, dass die Visualisierung der Unsicherheit den Entscheidungstragenden ein höheres Vertrauen in ihrer Entscheidung gibt. Fisher et al. (2012) konnten diesen Effekt bei nicht räumlichen Daten beobachten.

Bei Studien mit räumlichen Daten hingegen wurde dieser positive Effekt noch nicht festgestellt. Leitner & Buttenfield (2000), Deitrick & Edsall (2006) und Riveiro et al. (2014) haben alle das Selbstvertrauen des Entscheidungstragenden gemessen. Keiner von ihnen konnte einen signifikanten Unterschied im Selbstvertrauen zwischen Entscheidungen mit oder ohne die Visualisierung der Unsicherheit feststellen. Es ist also fragwürdig, ob die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten tatsächlich einen positiven Effekt auf das Selbstvertrauen hat. Diesbezüglich halten Kinkeldey et al. (2015b) fest, dass nur mit der geeigneten Visualisierung der Unsicherheit das Selbstvertrauen zunehmen kann.

2.6.2. Einfluss auf den Prozess der Entscheidungsfindung

Neben der Entscheidungsleistung kann man auch den Prozess einer Entscheidung analysieren. Leider gibt es nur wenige Studien, die sich auf den Prozess der Entscheidungsfindung konzentriert haben. Eine der wenigen Ausnahmen ist das Papier von Ruginski et al. (2016), die sich mit der Darstellung eines Orkanpfades über die Zeit auseinandergesetzt haben. Die Standardvisualisierung eines Orkanpfades ist in Abbildung 17 ersichtlich.

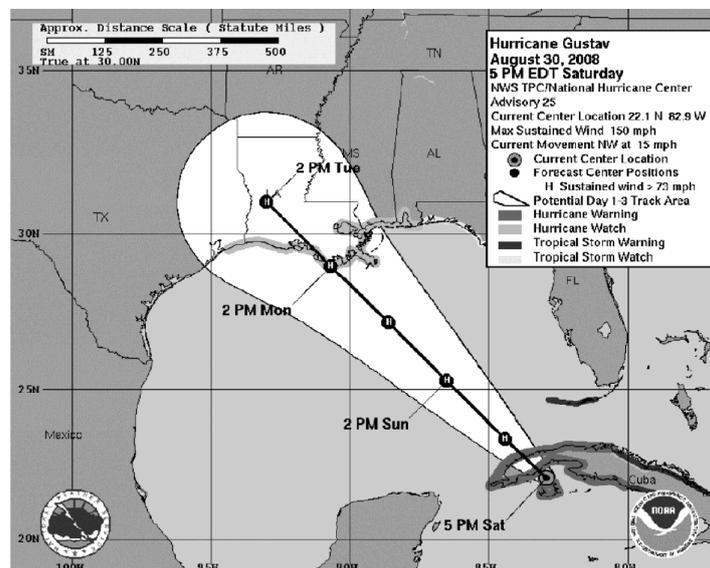


Abbildung 17: Standardvisualisierung eines Orkanpfades von dem National Hurricane Center (NHC) (Ruginski et al., 2016)

Die Darstellung besteht aus einer Linie und einem Kegel. Die Linie zeigt den vorhergesehenen Pfad des Orkans über mehrere Tage hinweg. Der Kegel stellt die Unsicherheit dar: Je breiter der Kegel, desto unsicherer ist der Pfad. Der Kegel gibt keine Angaben bezüglich der Größe oder der Stärke des Hurrikans. Es hat sich aber gezeigt, dass diese Art der Darstellung oft zu Fehlinterpretationen führt. Die Betrachtenden

interpretieren den Kegel als Angabe zur Intensität des Orkans oder als betroffenes Gebiet und nicht als eine mögliche Verteilung des Orkanpfades. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, haben Ruginski et al. (2016) verschiedene neue Darstellungen getestet (siehe Abbildung 18).

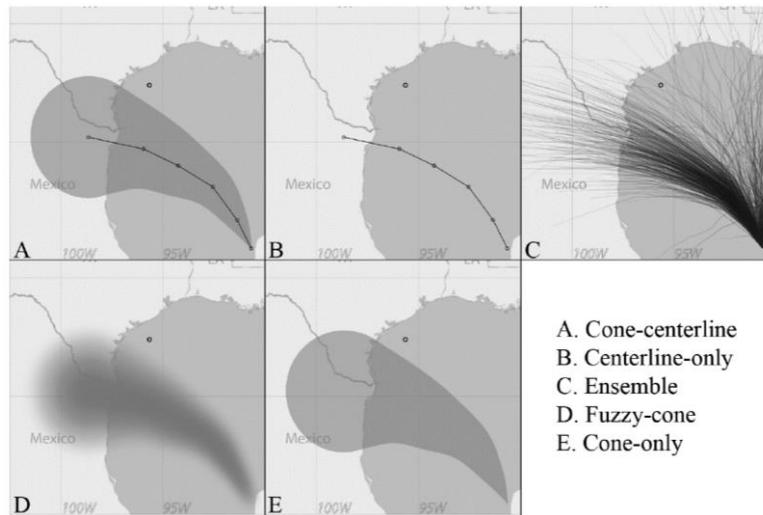


Abbildung 18: Alternative Darstellungen eines Orkanpfades (Ruginski et al., 2016)

Neben der herkömmlichen Darstellung (in Abbildung 18, A) wurden für die Studie eine einfache Liniendarstellung (B), mehrere mögliche Pfade zusammen (C), eine transparente Darstellung (D) und einen einzelnen Kegel (E) eingesetzt. Auf jeder Karte wurde eine Ölplattform mit einem Punkt eingezeichnet. Die Teilnehmenden wurden zufällig einer der sechs Visualisierungsvarianten zugeteilt und sahen 144 Karten. Die Probanden wurden gebeten anhand der Visualisierung des Hurrikan Pfades auf einer Likert Skala einzuschätzen, wie gross der Schaden an der Ölplattform sein könnte (1 = keinen Schaden; 7 = hoher Schaden). Für die Einschätzung wurden 2 Szenarien verwendet: Den Teilnehmenden wurde gesagt, dass sie den Schaden an der Ölplattform nach 24 Stunden und nach 48 Stunden nach dem Beginn des Tornados einschätzen mussten.

Die Resultate zeigten, dass die Einschätzungen des Schadens bei den Darstellungen mit einer zentralen Linie (Abbildung 18, A und B) höher waren, als bei den Darstellungen ohne eine Linie in der Mitte. Es scheint, dass die Teilnehmenden durch die zentrale Linie den Schaden als höher eingestuft haben. Ausserdem haben die Probanden bei der herkömmlichen Darstellung den Schaden im Zentrum des Orkans nach 48 Stunden konsequent höher eingestuft als nach 24 Stunden. Bei der Darstellung mit mehreren möglichen Orkanpfaden wurde das umgekehrte Resultat festgestellt: Die Probanden haben den Schaden nach 48 Stunden deutlich tiefer eingeschätzt als nach 24 Stunden.

Ruginski et al. (2016) sind der Meinung, dass diese Resultate mit einer heuristischen Denkweise im Zusammenhang stehen. Dabei haben die Autoren verschiedene heuristische Vorgehensweisen eingesetzt. Zum einem konnte festgestellt werden, dass die Grösse des Kegels als ein Indikator für die Stärke des Hurrikans empfunden wurde. Des Weiteren vermuten die Autoren, dass weitere heuristische Denkweisen eingesetzt wurden. Ein Beispiel ist die «Distanz-Heuristik». In diesem Fall haben die Teilnehmenden die

Distanz zum Zentrum des Kegels als Hilfe für die Einschätzung genutzt. Je weiter entfernt, desto geringer war der Schaden. Bei einer anderen heuristischen Vorgehensweise haben die Probanden geschaut, ob die Ölplattform innerhalb oder ausserhalb des Kegels liegt oder auf welcher Seite der Kurve des Pfades sich die Plattform befindet. Bei der Darstellung mit vielen möglichen Pfaden haben die Teilnehmenden die Anzahl Linien gezählt, welche die Ölplattform hindurch liefen. Je höher die Anzahl desto grösser der Schaden. Es hat sich also gezeigt, dass mit den verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit die Teilnehmenden unterschiedliche Strategien entwickelt haben, um die Entscheidung zu vereinfachen. Je nachdem welche Darstellungsart man wählt, unterscheidet sich die angewendete Heuristik.

Auch McKenzie et al. (2016) haben sich mit der Heuristik und der Visualisierung der Unsicherheit beschäftigt. Die Autoren haben vier verschiedene Darstellungen für die Visualisierung einer unsicheren Position in einer digitalen Karte getestet. Die verwendeten Darstellungen sind in Abbildung 19 ersichtlich.

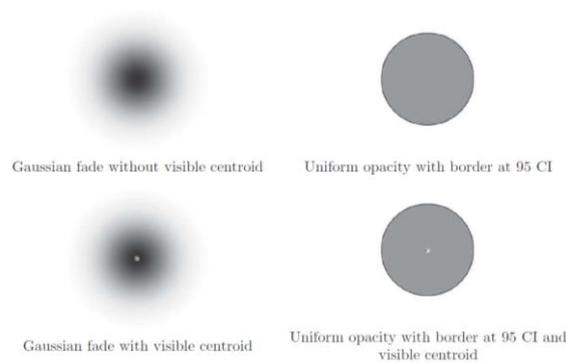


Abbildung 19: Vier verschiedene Darstellungen für die Visualisierung einer unsicheren Position in einer digitalen Karte (McKenzie et al., 2016)

Zum einen haben die Forscher zwei Varianten einer verschwommenen Darstellung eines Kreises getestet (in Abbildung 19, links). Die erste Variante hat keinen Punkt in der Mitte, während bei der zweiten Variante dieser Punkt vorhanden ist. Zum anderen wurde eine einfache Darstellung mit einem Kreis eingesetzt. Auch hier gab es eine Variante mit und eine ohne Punkt in der Mitte. Die Teilnehmenden des Experiments sahen gleichzeitig zwei Bilder von digitalen Karten. In beiden Bildern wurde mit einem Kreuz die tatsächliche Position der Testperson dargestellt. Mit einer der vier Visualisierungsarten wurde die vom Smartphone geschätzte Position angezeigt. Die Teilnehmenden mussten unter Berücksichtigung der Unsicherheit entscheiden, welches Smartphone die Position am besten geschätzt hat. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 20 ersichtlich.

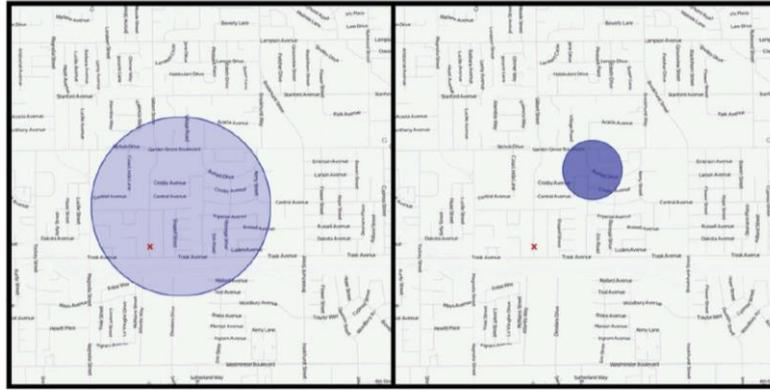


Abbildung 20: Beispielaufgabe der Studie von McKenzie et al. (2016). Das rote Kreuz stellt die tatsächliche Position des Smartphone Benutzenden dar. Die grossen blauen Kreise stellen die durch das Smartphone geschätzte Position dar (McKenzie et al., 2016)

Im Anschluss an das Experiment wurden die Teilnehmenden gefragt, welche Strategie sie für ihre Entscheidungsfindung angewendet haben. Dabei haben die Autoren erfahren, dass die Testpersonen verschiedene heuristische Vorgehensweisen benutzt haben. McKenzie et al. (2016) konnten folgende Heuristiken feststellen:

- **Distanz:** Viele Teilnehmende haben ihre Entscheidung aufgrund der Distanz zwischen dem blauen Kreis und dem roten Kreuz getroffen. Je näher das rote Kreuz beim Zentrum des blauen Kreises war, desto genauer wurde die geschätzte Position vom Smartphone empfunden.
- **Grösse:** Bei einigen Teilnehmenden basierte die Entscheidung auf der Grösse des blauen Kreises. Manche erklärten explizit, dass sie immer den kleineren Kreis gewählt haben, weil dieser auf geringere Unsicherheit hindeute.
- **Farbe:** Andere Teilnehmende haben ihre Entscheidung aufgrund der Dunkelheit der Farbe getroffen. Je dunkler die Farbe an der Stelle ist, wo sich das Kreuz befindet, desto genauer wurde die Schätzung des Smartphones empfunden.
- **Eingrenzung:** Gewisse Teilnehmende haben sich für jene Schätzung entschieden, bei der sich das rote Kreuz im blauen Kreis befand.
- **Unbekannte Variablen:** In manchen Fällen war es nicht möglich die graphische Variable, auf der die Entscheidung basierte, zu identifizieren.

Des Weiteren konnten McKenzie et al. (2016) feststellen, dass die heuristische Vorgehensweise von der Darstellungsart der Unsicherheit abhängt. Zum Beispiel wurde die «Distanz-Heuristik» bei allen vier Darstellungen gleich oft erwähnt. Die «Eingrenzung-Heuristik» und die «Grössen Heuristik» wurden hingegen öfters bei den Darstellungen mit den einfachen Kreisen eingesetzt. «Farbe» wurde vor allem bei der Darstellung mit verschwommenen Kreisen eingesetzt (McKenzie et al., 2016). Wie schon Ruginski et al. (2016) haben somit auch McKenzie et al. (2016) festgestellt, dass verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit zu unterschiedlichen heuristischen Vorgehensweisen bei der Entscheidungsfindung führen.

Auch Keuper (2004) hat sich mit der Heuristik bei der Entscheidungsfindung unter Unsicherheit befasst. Der Autor hat in seiner Doktorarbeit verschiedene Experimente durchgeführt. In einem dieser Experimente mussten die Teilnehmenden eine geeignete Wohnung für eine imaginäre Freundin namens Elizabeth finden. Die Wohnung musste sechs Kriterien erfüllen, damit Elizabeth zufrieden war: Nähe zum Park, angemessene Distanz zur Autobahn, nicht mehr als eine Meile von der Universität entfernt, nicht weiter als 1.5 Meilen vom Shoppingviertel entfernt (aber nicht innerhalb dessen), nahe an einem Fahrradweg und eine Bevölkerungsdichte kleiner als 2500 Personen pro Quadratmeile. Um die perfekte Wohnung für Elizabeth zu finden, haben die Testpersonen verschiedene Karten der fiktiven Stadt Vaag in South Dakota analysiert. Die Probanden mussten zehn Wohnungen nach ihrer Eignung auf einer Likert Skala bewerten (von 1 = *überhaupt nicht geeignet* bis 7 = *sehr geeignet*). Neben der Position der Wohnungen und weiteren Aspekten wie Strassen und Gebäuden, wurde auch die Unsicherheit der Bevölkerungsdichte und der Grenzen des Shoppingviertel in der Karte dargestellt.

Generell hat der Autor beobachtet, dass durch die Vermittlung der Unsicherheit die Eignung der Häuser gesunken ist. Dies bedeutet, dass in der Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit gewisse Häuser als geeigneter betrachtet wurden als in den Karten mit Unsicherheit. Die Visualisierung hatte in diesem Fall also einen negativen Einfluss auf die Eignung der Häuser.

Am Ende der Studie mussten die Teilnehmenden die Kriterien, die Elizabeth vorgegeben hatte, nach ihrer Wichtigkeit in Bezug auf ihre Entscheidung ordnen. Für alle Testpersonen waren die objektiven Kriterien wie z.B. «nicht mehr als eine Meile von der Universität entfernt» wichtiger als die subjektiven Kriterien wie z.B. «Nähe zum Park». Aufgrund dieser Reihenfolge hält Keuper (2004) fest, dass der Entscheidungsprozess von einer gleichgewichteten additiven Heuristik abgewichen ist. Die Teilnehmenden haben subjektiv einige Kriterien als wichtiger eingeschätzt.

Wenn die Probanden keine gleichgewichtete additive Heuristik angewendet haben, wie sind sie dann bei ihrer Entscheidung vorgegangen? Keuper (2004) stellt zwei Vermutungen auf. Zum einem könnte es sein, dass ein Übergang von einer gleichgewichteten zu einer gewichteten additiven Heuristik stattgefunden hat. Dies würde bedeuten, dass der Prozess, der zur Entscheidung führte, der gleiche ist, sich die Wichtigkeit der Faktoren aber verändert hat. Die Teilnehmenden haben nach ihrer subjektiven Einschätzung jedem Kriterium eine unterschiedliche Wichtigkeit zugeteilt. Die Eignung jeder Wohnung wurde anhand dieser Gewichtung geschätzt. Keuper (2004) konnte zudem feststellen, dass die Teilnehmenden zwischen den zwei Bedingungen mit oder ohne Visualisierung der Unsicherheit die Wichtigkeit der Kriterien neu geordnet haben. Interessant dabei ist, dass die Kriterien, für welche die Unsicherheit angegeben wurde (in diesem Fall die Grenzen des Shoppingviertels und die Bevölkerungsdichte), bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit am stärksten an Bedeutung gewonnen haben.

Der Autor beschreibt die gewichtete additive Heuristik aber als kognitiv sehr kompliziert und zeitaufwendig. Deshalb stellt Keuper (2004) eine zweite Vermutung auf: Es könnte sein, dass sich durch die Visualisierung der Unsicherheit die angewendete Heuristik verändert hat: Von einem gewichteten additiven Verfahren zu einer sogenannten attributweisen Eliminationsregel. In diesem Fall werden die

Kriterien einzeln betrachtet und die Optionen verworfen, welche das Kriterium nicht erfüllen. Die Reihenfolge, nach der die Kriterien analysiert werden, wird nach der subjektiven Wichtigkeit bestimmt. Schlussendlich bleibt eine Option übrig, die dann gewählt wird. Diese Heuristik ist deutlich einfacher als die gewichtete additive Heuristik, weil man sich auf ein Kriterium nach dem anderen fokussieren kann (siehe auch Kapitel 2.6.2).

Dank seiner Studie kommt Keuper (2004) zum Schluss, dass der Entscheidungstragende unter Unsicherheit die angewendete Heuristik ändert, um die Komplexität der Entscheidung zu reduzieren. Ausserdem gewinnen die Informationen, bei denen die Unsicherheit mitgeteilt wird, an Bedeutung und werden als wichtiger empfunden als diejenigen Informationen ohne Unsicherheit (Keuper, 2004).

2.6.3. Einfluss auf die Risikowahrnehmung

Wie in den letzten Kapiteln aufgezeigt, kann die Entscheidung durch die Visualisierung der Unsicherheit beeinflusst werden. Auch die Wahrnehmung von Risiko und Gefahr ändert sich durch verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit. Einen solchen Einfluss haben beispielweise Ash et al. (2014) entdeckt. Ash et al. (2014) haben drei Darstellungen zur Warnung von Tornados untersucht (Abbildung 21).

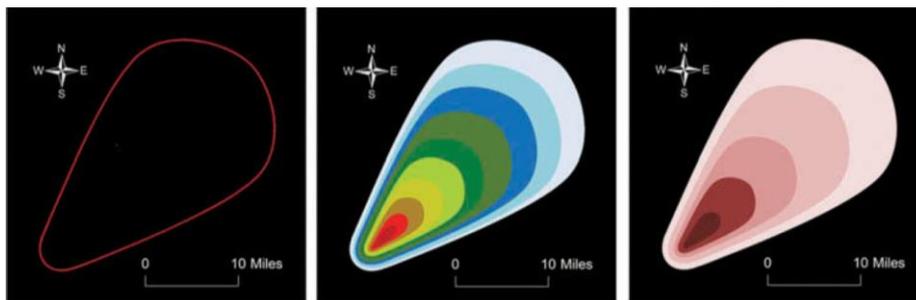


Abbildung 21: verschiedene Darstellungen einer Tornadowarnung nach Ash et al. (2014). Links die Standarddarstellung, Mitte mit Farbtönen und rechts mit Farbhelligkeit (Ash et al., 2014)

Im Bild links ist die Standarddarstellung einer Tornadowarnung ersichtlich. Die Fläche innerhalb der roten Grenze stellt ein Gebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit für Tornados dar. In der Mitte der Abbildung 21 ist die Warnung mit verschiedenen Farbtönen dargestellt. Die verschiedenen Farben stellen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten eines Tornados dar. Das gleiche Prinzip wurde in der Darstellung rechts angewendet, jedoch variiert hier nicht der Farbtönen, sondern die Farbhelligkeit. Je dunkler die Farbe, desto höher die Wahrscheinlichkeit eines Tornados. Ash et al. (2014) haben festgestellt, dass sich mit der Standarddarstellung der Betrachtende stärker vor dem Tornado fürchtet und sich mehr schützen möchte. Die Furcht und das Bedürfnis sich zu schützen waren mit der Darstellung durch Farbhelligkeit am zweithöchsten und am tiefsten mit der Visualisierung durch Farbtönen. Ash et al. (2014) kommen zum Schluss, dass das wahrgenommene Risiko sich mit der Art der Visualisierung der Unsicherheit stark verändern kann.

Auch die Arbeit von Ruginski et al. (2016) geht in eine ähnliche Richtung (siehe Kapitel 2.6.2). Die Autoren konnten feststellen, dass durch die verschiedenen Darstellungen eines wahrscheinlichen Hurrikan-Pfades sich die geschätzten Schäden an einer Ölplattform unterscheiden können. Somit wird das mögliche Risiko, welchem die Ölplattform ausgesetzt ist, unterschiedlich wahrgenommen.

Weitere Studien, die sich mit der Veränderung der Wahrnehmung des Risikos durch die Visualisierung der Unsicherheit beschäftigen sind mir nicht bekannt. Es ist aber von grosser Wichtigkeit diesen Zusammenhang zu verstehen, da eine falsche Risikoeinschätzung schwerwiegende Konsequenzen haben kann.

2.6.4. Einfluss der Erfahrung bei Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit

Ein wichtiger Faktor, der bei Entscheidungen unter Unsicherheit eine entscheidende Rolle spielen kann, ist die Erfahrung. Sie kann die Entscheidungsfindung massgeblich beeinflussen (Roth, 2009a). Bezüglich dem Zusammenhang zwischen der Erfahrung und Entscheidungen unter Unsicherheit gibt es viele Studien aus dem militärischen Bereich da es häufig vorkommt, dass Entscheidungen in unsicheren Situationen getroffen werden müssen. Ich möchte im Folgenden näher auf zwei Studien eingehen, welche den Einfluss des militärischen Fachwissens bei Entscheidungen mithilfe von Karten mit Visualisierung der Unsicherheit untersuchen.

Die Erste stammt von St. John et al. (2000). Die Autoren haben eine Studie mit Marinesoldaten der amerikanischen Armee durchgeführt, in der sie verschiedene Darstellungsvarianten von Unsicherheit in einer Karte untersuchten. Die unsicheren Informationen bezogen sich auf das Vorhaben der Feindtruppen, dessen Zusammensetzung und Position. Die Teilnehmenden mussten sich mithilfe einer Karte, in welcher die unsicheren Informationen abgebildet waren, entscheiden, ob sie handeln oder ob sie lieber abwarten wollen. Die Marinesoldaten waren in zwei Gruppen unterteilt: Ein Teil von ihnen hatte keine Erfahrung im Gefechtstand, während der andere Teil über gewisse Erfahrungen verfügte. St. John et al. (2000) fanden heraus, dass sich Marinesoldaten mit wenig Erfahrung eher dafür entschieden abzuwarten, in der Hoffnung mehr Informationen zu erhalten. Marinesoldaten mit Erfahrung wollten hingegen schneller handeln.

Die zweite Studie aus dem militärischen Bereich ist die von Kobus et al. (2001). Das durchgeführte Experiment ist sehr ähnlich dem von St. John et al. (2000), jedoch hatten die Marinesoldaten in der Studie von Kobus et al. (2001) nicht nur eine Karte mit unsicheren Informationen zur Verfügung, sondern sie bekamen laufend neue Informationen via Radio oder auf dem Bildschirm angezeigt. Die Marinesoldaten mussten mithilfe von diesen unsicheren Informationen taktische Entscheidungen treffen. Kobus et al. (2001) haben dabei herausgefunden, dass die Expertengruppe länger gebraucht hat, um die Situation unter unsicheren Bedingungen einzuschätzen. Dafür war diese Gruppe schneller bei der Entwicklung und Durchführung der taktischen Strategie.

Nicht nur im militärischen Sektor wurde der Einfluss des Fachwissens auf Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit untersucht. Im Folgenden werden verschiedene Studien aus dem geographischen Bereich präsentiert. Eine der ältesten Studien ist die von Evans (1997). Die Autorin hat bei

ihrer Studie verschiedene Darstellungsmethoden für die Visualisierung von Unsicherheit der Landnutzung analysiert. Die Probanden mussten angeben, wie zuverlässig sie die Karten mit den verschiedenen Darstellungsvarianten empfanden und einschätzen, wie gross das sichere Gebiet war. Im Gegensatz zu St. John (2000) und Kobus (2001) konnte Evans (1997) keinen Unterschied in der Richtigkeit der Antworten zwischen den zwei Expertengruppen feststellen. Unabhängig von ihrer Erfahrung hatten fast alle Teilnehmenden die zusätzliche Information «Unsicherheit» verstanden und bei ihren Antworten berücksichtigt.

Ein ähnliches Resultat haben Aerts et al. (2003) gefunden. Die Teilnehmenden ihrer Studie mussten anhand einer Karte des urbanen Wachstums in der kalifornischen Stadt Santa Barbara schätzen, wie gross die Unsicherheit des dargestellten Wachstums war. Aerts et al. (2003) sind zum Schluss gekommen, dass die Fachkenntnisse keinen Einfluss auf das Verständnis oder auf den Gebrauch der Informationen über Unsicherheit haben.

Ganz anders sehen hingegen die Resultate von Hope & Hunter (2007b) und Roth (2009a) aus. Die Teilnehmenden der Studie von Hope & Hunter (2007b) mussten einen geeigneten Standort für einen Flughafen wählen. Es stellte sich heraus, dass Personen mit mehr GIS Erfahrung eher Standorte wählten, die nicht extrem geeignet waren für den Flughafen, dafür aber ein höheres Niveau an Sicherheit aufwiesen.

In der Studie von Roth (2009a) mussten die Teilnehmenden schätzen, wie hoch die Überflutungsgefahr in einem auf der Karte angezeigten Gebiet ist. Die mögliche Ausdehnung der Überflutung wurde mit drei verschiedenen Linien markiert. Durch diese Darstellung sollte den Teilnehmenden mitgeteilt werden, dass es bei der Schätzung der Ausdehnung Unsicherheiten gibt. Roth (2009a) ist zum Schluss gekommen, dass die Erfahrung eine entscheidende Rolle bei der Schätzung der Gefahr, bei der Sicherheit der Antwort und bei der empfundenen Schwierigkeit der Aufgabe spielt. Tatsächlich haben die Laien die Gefahr einer Überflutung eher unterschätzt. Der Autor vermutet, dass Experten die Auswirkungen der Unsicherheit besser verstehen können und sich deshalb bei ihrer Entscheidung sicherer fühlten als die Laien. Dieses Resultat ist nicht überraschend, da Experten sich eher daran gewöhnt sind mit Unsicherheit zu arbeiten.

Die Resultate von Evans (1997) und Aerts et al. (2003) widersprechen denen von St. John et al. (2000), Kobus et al. (2001), Hope & Hunter (2007b) und Roth (2009a). Während die ersteren keinen Unterschied festgestellt haben, haben die letzteren herausgefunden, dass die Erfahrung einen Einfluss auf Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit haben kann. Es ist deshalb schwierig festzuhalten, welchen Einfluss die Erfahrung und die Fachkenntnisse bei Entscheidungen unter unsicheren Bedingungen haben könnten.

2.7. Eingliederung dieser Arbeit in den Forschungskontext

In Kapitel 2 wurde erklärt was Unsicherheit ist und woher sie stammt. Des Weiteren wurden verschiedene Methoden für die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten in Karten aufgezeigt. Anschliessend wurde erläutert, wie Entscheidungen unter Unsicherheit getroffen werden und wie sich dieser Prozess bei Entscheidungen mithilfe von Karten äussert. Die Forschung im Bereich der

Visualisierung der Unsicherheit in Karten ist kein Neuland. Vor allem in den letzten zehn Jahren haben die Studien diesbezüglich deutlich zugenommen. Es ist den Forschern immer bewusster worden, dass Unsicherheit von räumlichen Daten den Kartennutzenden mitgeteilt werden muss. Aus diesem Grund hat sich die Forschung auf die Ermittlung von verschiedenen Darstellungsmethoden konzentriert. Viele Forscher haben neue und vielfältige Visualisierungsmethoden präsentiert und diese auf ihr Verständnis getestet. Es fehlen aber immer noch generelle Regeln, die besagen, in welcher Situation und mit welchen Daten eine gewisse Visualisierung der Unsicherheit angewendet werden soll (Kinkeldey et al., 2014a).

Nach der ersten Welle von Studien, die verschiedene Visualisierungsmethoden untersucht haben, haben sich die Forscher vor allem auf den Einfluss der Unsicherheit auf Entscheidungen konzentriert. Hierbei wollten die Forscher herausfinden, wie sich eine einfache Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit verändert. Kinkeldey et al. (2015b) erwähnen, dass sich die Studien in diesem Bereich mehrheitlich auf die Leistung einer einfachen Entscheidung konzentriert haben. Diese Studien untersuchten hauptsächlich, wie genau und schnell eine Entscheidung getroffen wurde oder wie hoch das Selbstvertrauen bei der Entscheidung war. Nur wenige Studien konzentrierten sich darauf herauszufinden, welche Wirkung die Visualisierung der Unsicherheit auf das Ergebnis und den Prozess einer Entscheidung hat (Kinkeldey et al., 2015b). Noch weniger Forschung gibt es bezüglich komplexe Entscheidungen.

Mit dieser Arbeit möchte ich deshalb mehrere Forschungslücken gleichzeitig schliessen. Zum einem sollte diese Arbeit einen weiteren Beitrag zur Forschung bezüglich der Entscheidungsleistung leisten. Die Leistung wird aber für eine komplexe Entscheidung anhand von zwei Faktoren gemessen: Das Ergebnis der Entscheidung, welche selten untersucht wurde, und die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung. Des Weiteren ist das Ziel dieser Arbeit, neue Hinweise bezüglich dem Prozess einer komplexen Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit zu liefern. Es gibt bis anhin nur wenige Studien, die sich mit diesem Thema befasst haben (siehe dazu Kapitel 2.6.2). Um dieses Ziel zu erreichen wird in dieser Arbeit eine Benutzerstudie durchgeführt, welche im nächsten Kapitel genauer erläutert wird.

3. Methodik

Wie erwähnt ist ein Ziel dieser Arbeit herauszufinden, ob die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf Entscheidungen haben könnte. Im folgenden Unterkapitel wird diese Forschungsfrage in drei verschiedenen Forschungsfragen aufgeteilt und somit genauer und konkreter formuliert. Um die Forschungsfragen zu beantworten, wird eine Benutzerstudie am geographischen Institut der Universität Zürich durchgeführt. Deshalb wird nach der Formulierung der genauen Forschungsfragen näher auf die angewendete Methodik eingegangen. In einem ersten Teil der Beschreibung der Methodik werden die Teilnehmenden sowie die Struktur vorgestellt. Im zweiten Teil gehe ich vertiefter auf die Materialien und den Ablauf der Vortests, des Hauptexperiments und der Schlussfragen ein.

3.1. Forschungsfragen

Wie Kapitel 2.7 aufgezeigt, ist das generelle Ziel dieser Arbeit herauszufinden, ob und wie bei einer räumlichen Fragestellung die Visualisierung der Unsicherheit von dem Entscheidungstragende berücksichtigt wird und wie diese die Entscheidung beeinflusst. Um diese Ziele zu erreichen wird folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

1. Hat die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte einen Einfluss auf die Leistung einer komplexen Entscheidung?
2. Unterscheidet sich die Leistung einer komplexen Entscheidung zwischen verschiedenen Visualisierungsarten der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte?
3. Hat die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte einen Einfluss auf die Leistung einer komplexen Entscheidung?

Hypothese zu Forschungsfrage 1 und 2: Mit diesen zwei Forschungsfragen wird untersucht, ob es Unterschiede zwischen der Leistung einer Entscheidung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit gibt. In dieser Arbeit wird die Entscheidungsleistung mit den Indikatoren «Ergebnis der Entscheidung» und «benötigte Zeit für die Entscheidung» gemessen. Zum einem wird erwartet, dass die Visualisierung der Unsicherheit bei einer räumlichen Fragestellung einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung hat. Diese Hypothese basiert auf der Forschung, die in Kapitel 2.6.1 vorgestellt wurde. Sowohl Deitrick & Edsall (2006), wie auch Pyysalo & Oksanen (2014) und Riveiro et al. (2014) haben festgestellt, dass bei Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit sich das Ergebnis verändert. Zum anderen wird erwartet, dass die Visualisierung der Unsicherheit keinen Einfluss auf die benötigte Zeit einer Entscheidung hat. Diese Erwartung basiert auf die Erkenntnisse von Leitner & Buttenfield (2000) und Riveiro et al. (2014) (siehe Kapitel 2.6.1)

Bezüglich Forschungsfrage 2 vermute ich, dass die verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit einen Einfluss auf die Entscheidungsleistung haben könnten. Hope & Hunter (2007a) konnte feststellen,

das aufgrund von verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit sich das Ergebnis einer Entscheidung verändert (siehe Kapitel 2.6.1). Auch bezüglich der benötigten Zeit für die Entscheidung mit verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit werden Unterschiede erwartet (siehe Leitner & Buttenfield, 2000).

Hypothese zu Forschungsfrage 3: Falls in Forschungsfrage 1 und 2 ein Unterschied in der Leistung der Entscheidung festgestellt wird, kann vermutet werden, dass sich der Prozess der Entscheidungsfindung zwischen der sicheren und der unsicheren Informationsgrundlage verändert. In dieser Forschungsfrage wird analysiert, wie der Prozess der Entscheidungsfindung unter unsicheren Bedingungen abläuft. Wie in Kapitel 2.5 und 2.6.2 gesehen, werden bei Entscheidungen unter Unsicherheit heuristische Vorgehensweisen angewendet. Mit dieser Forschungsfrage möchte ich verstehen, welche der möglichen heuristischen Vorgehensweisen eingesetzt wurde. Ursprünglich war auch eine Analyse der Augenbewegungen geplant gewesen. In der bestehenden Literatur gibt es Beweise, dass durch die Analyse der Augenbewegungen Erkenntnisse über den Prozess der Entscheidungsfindung möglich sind (Glaholt & Reingold, 2011). In dieser Arbeit wollte ich untersuchen, ob dies auch bei Entscheidungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit zutrifft. Somit könnte untersucht werden, ob der Eye Tracker eine geeignete Methode ist, um den Prozess der Entscheidungsfindung bei Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit zu messen. Dabei vermute ich, dass die Entscheidungstragenden unter Unsicherheit länger auf ein unsicheres Gebiet schauen, um die Unsicherheit besser zu verstehen oder quantifizieren zu können. Leider konnten die Daten zu den Augenbewegungen aus zeitlichen Gründen nicht im Detail analysiert werden. Es wurde nur einen kleinen Teil der Augenbewegungen der Teilnehmenden analysiert.

3.2. Teilnehmende

Wie in Kapitel 2.6.4 bereits erwähnt, kann die Erfahrung und das Fachwissen in Gebieten wie Kartographie, GIS oder Risikoeinschätzung einen Einfluss auf die Entscheidungen haben, die mit unsicheren Informationsgrundlage getroffen werden müssen. Da das Ziel dieser Arbeit nicht das Testen des Einflusses von Fachwissen ist, erscheint es mir besonders wichtig, dass die Gruppe von Teilnehmenden homogen ist. Alle Teilnehmenden sollten über die gleiche Ausbildung und somit über die gleichen Hintergrundinformationen verfügen. Eine heterogene Gruppe bezüglich des Fachwissens könnte Verzerrungen in den Resultaten verursachen.

Für die Durchführung der Studie wurden deshalb Studenten des geographischen Instituts der Universität Zürich ausgewählt. Als Geographie-Studenten sind sie mit Kartographie und GIS gut vertraut. Ausserdem sind sich diese Personen aufgrund ihrer Ausbildung daran gewohnt, Fragestellungen mithilfe von Karten zu beantworten. Über Unsicherheit im Zusammenhang mit Risikoeinschätzung, welche für die durchgeführte Studie von grosser Wichtigkeit sind, sollte diese Gruppe hingegen nur über wenige Fachkenntnisse verfügen. Die Teilnehmenden wurden per Email kontaktiert (siehe Anhang J für die gesendete Email).

3.3. Struktur der Studie

Die Studie, welche in dieser Arbeit vorgestellt wird, ist in drei Teile aufgeteilt. Zuerst mussten die Teilnehmenden Fragen zu ihrer Persönlichkeit beantworten sowie drei Vortests lösen. Im zweiten Teil folgte das Hauptexperiment. Im Hauptexperiment wurden die Teilnehmenden gebeten Entscheidungen mithilfe von Gefahrenkarten zu treffen, auf welchen die Unsicherheit visualisiert ist. Zum Schluss wurden den Teilnehmenden noch Fragen über die gelöste Aufgabe gestellt. Eine genaue Beschreibung der einzelnen Teile der Studie folgt in den nächsten Kapiteln. Folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Struktur der Studie.

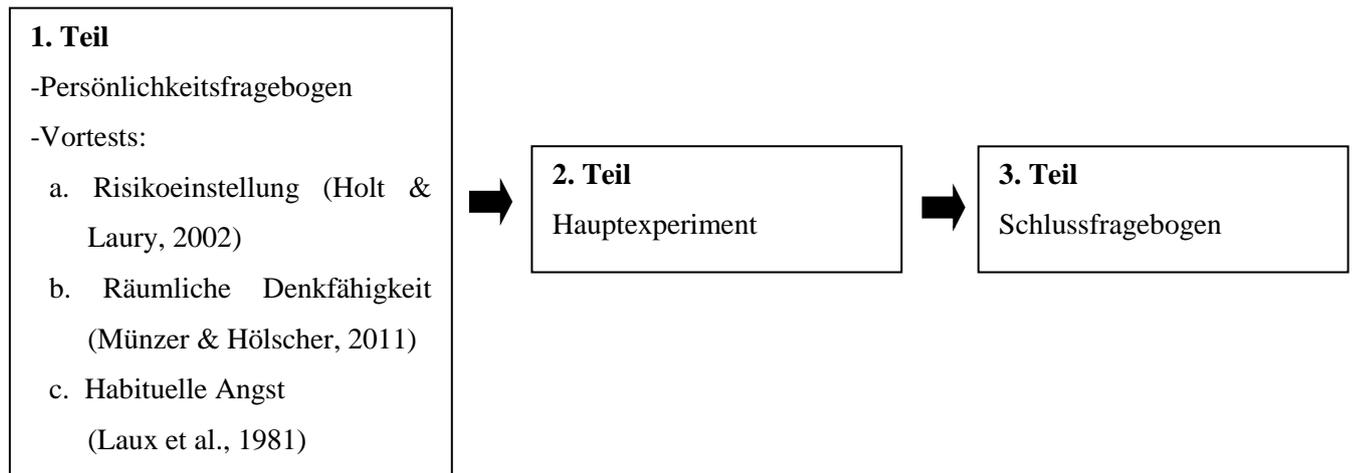


Abbildung 22: Struktur der Studie

Die Studie wurde zwischen dem 18.05.2016 und dem 02.06.2016 durchgeführt. Die Probedurchläufe der Studie ergaben, dass man für das Durchführen der Studie zwischen 35 und 50 Minuten benötigt. Um noch etwas Zeitreserve zu haben, wurde pro Teilnehmende eine Stunde einberechnet.

Die Studie fand im «Eye Movement Lab» (im Folgenden auch Labor genannt) des geographischen Instituts der Universität Zürich statt. Dieser Raum besitzt keine Fenster. Somit haben alle Teilnehmenden die gleichen Lichtbedingungen und zwar unabhängig davon, zu welcher Tageszeit die Studie durchgeführt wurde. Das Labor ist mit einem Computer und einem Eye Tracker ausgestattet (genauere Beschreibung dieser Instrumente, siehe Kapitel 3.5.2). Während der ganzen Studie war ich im Labor anwesend.

3.4. Vortests

Die Teilnehmenden mussten vor dem Hauptexperiment ein Persönlichkeitsfragebogen ausfüllen und drei Vortests lösen: Einen zur Risikoeinstellung, einen zu den räumlichen Denkfähigkeiten und einen zur habituellen Angst. Die deutsche Version von Laux et al. (1981) des Vortests zur habituellen Angst nach Spielberg et al. (1970) wird im Folgenden nicht näher beschrieben, weil er im Rahmen dieser Arbeit nicht ausgewertet wurde. Die Vortests, welche mithilfe der Webseite Online Umfragen¹ erstellt wurden, wurden auf meinem persönlichen Computer ausgefüllt. Der Computer ist ein Lenovo² T450s, der Bildschirm hat

¹ <https://onlineumfragen.com/> Tool zur Herstellung von online Fragebogen. Letzter Zugriff: 30.07.2016

² <https://lenovo.com/>, letzter Zugriff: 30.07.2016.

eine Grösse von 14 Zoll. In den folgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Vortests eingegangen. Der komplette Fragebogen zu den Vortests ist in Anhang C ersichtlich.

3.4.1. Persönlichkeitsfragebogen

Im ersten Teil des Fragebogens wurden den Teilnehmenden persönliche Fragen über Alter, Geschlecht und Sehschwächen gestellt. Zudem wurden sie nach ihrer Erfahrung in den Bereichen Kartographie, Geographische Informationssysteme, Gefahrenkarten und räumliche Analysen befragt. Das Ziel dieser persönlichen Fragen war es, ein generelles Bild über die Probanden zu erhalten.

3.4.2. Fragebogen zur Risikoeinstellung

Der erste Vortest, den die Teilnehmenden zu lösen hatten, war jener zur Risikoeinstellung nach Holt & Laury (2002). Wie im Folgenden noch genauer erklärt wird, mussten die Teilnehmenden dieser Studie unter anderem die Gefahr einer Naturkatastrophe einschätzen. Deshalb bin ich der Meinung, dass die spezifische Eigenschaft «Risikoeinstellung» eine wichtige Rolle bei der Entscheidung spielen könnte. Es gibt drei verschiedene Risikoeinstellungen: Risikoscheu, risikoneutral und risikofreudig (Holt & Laury, 2002). Einfach erklärt wählt eine risikoscheue Person bei mehreren Alternativen mit gleichem Erwartungswert immer diejenige Alternative mit dem kleinsten Risiko³. Dies bedeutet, dass risikoscheue Menschen möglichst den sichersten Gewinn wählen, auch wenn dieser geringer ist³. Der Grund dafür ist, dass eine risikoscheue Person «negative Abweichungspotentiale vom Erwartungswert höher gewichtet als positive Abweichungspotentiale»⁴. Der mögliche Verlust bei einer riskanten Entscheidung wird von einer risikoscheuen Person als schwerwiegender empfunden als der mögliche Gewinn. Deshalb wählt diese Gruppe immer die sichere Variante. Bei risikofreudigen Menschen ist hingegen das Gegenteil der Fall. Ein risikofreudiger Mensch gewichtet «positive Abweichungspotentiale vom Erwartungswert höher als negative Abweichungspotentiale»⁴, weshalb er oder sie immer die riskantere Variante wählt, welche aber den höchstmöglichen Gewinn aufzeigt. Die risikoneutrale Person «gewichtet positive und negative Abweichungspotentiale vom Erwartungswert gleich hoch»⁴. Deshalb bevorzugt ein risikoneutraler Mensch immer die Alternative mit dem höchsten Erwartungswert⁴.

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, um die Risikoeinstellung einer Person zu messen. Kahneman & Tversky (1979) raten dazu, möglichst einfache Verfahren zu benutzen, in denen sich das gleiche Problem nicht zu oft wiederholt. Dies vereinfacht die Interpretation der Resultate (Kahneman & Tversky, 1979). Aus diesem Grund wurde für die Messung der Risikoeinstellung die Holt-&-Laury-Lotterie (HLL; Holt & Laury, 2002) eingesetzt. Zum einen ist die HLL kurz und die Vorgehensweise kann den Teilnehmenden problemlos erklärt werden (Abdellaoui et al., 2011). Ausserdem sind die Resultate einfach zu interpretieren: Anhand der getroffenen Entscheidung kann ohne Transformation der Daten direkt auf die Risikoeinstellung der Person geschlossen werden (Ewald et al., 2012).

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Risikoaversion>, letzter Zugriff: 25.09.2016

⁴ <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/14089/risikopraeferenz-v10.html>, letzter Zugriff: 25.09.2016

Um diesen Test durchzuführen, wurde den Teilnehmenden folgendes Szenario erklärt: Sie spielen bei einer Lotterie mit und teilen dafür ihr Geld in zehn verschiedenen Teilen auf, um zehnmal mitspielen zu können. Jedes Mal müssen sich die Teilnehmenden zwischen Lotterie A oder B entscheiden. Die Gewinne und deren Wahrscheinlichkeit unterscheiden sich zwischen den zwei Lotterien. Die Teilnehmenden müssen sich vorstellen, dass der Gewinn von dem möglichen Resultat eines Wurfes mit einem zehnsseitigen Würfel abhängt. Um eine Entscheidung zu fällen, wurde den Teilnehmenden die Gewinne und die dazugehörige Wahrscheinlichkeit der Lotterie A und B in einer Tabelle gezeigt. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 23 ersichtlich. Der vollständige Test befindet sich im Anhang C.

Vortest 1
Spiel 1

Im ersten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
1	1/10	40.-	9/10	32.-	1/10	77.-	9/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

Lotterie A
 Lotterie B

Abbildung 23: Spiel 1, Vortest zur Risikoeinstellung nach Holt & Laury (2002)

In Abbildung 23 ist das erste Spiel ersichtlich. In diesem Spiel ist es möglich, bei Lotterie A CHF 40.00 zu gewinnen, falls der Würfel «1» ergibt und CHF 32.00, falls der Würfel eine Zahl zwischen «2» und «10» ergibt. Bei Lotterie B kann man CHF 77.00 gewinnen, falls der Würfel die Zahl «1» zeigt, und CHF 2.00, falls der Würfel eine Zahl zwischen «2» und «10» ergibt. Man erkennt sofort, dass der mögliche Gewinnunterschied bei Lotterie A (CHF 40.00 und CHF 32.00) viel geringer ist als bei der riskanteren Variante B (CHF 77.00 und CHF 2.00) (Holt & Laury, 2002). Da die Wahrscheinlichkeit für den höheren Gewinn bei beiden Lotterien 1/10 beträgt, entscheidet sich nur ein risikofreudiger Mensch für Lotterie B (Holt & Laury, 2002).

Die Beschreibung des Szenarios wurde in dieser Arbeit etwas anders gestaltet als im Original von Holt & Laury (2002). Beim Test von Holt & Laury (2002) wurde am Schluss eine von der zehn Entscheidungen zufällig gewählt und anschliessend gespielt. Der Gewinn wurde in Bargeld ausgezahlt. Aus finanziellen Gründen konnte im Rahmen dieser Arbeit dieser Teil des Tests nicht durchgeführt werden, weshalb die Anweisungen etwas abgeändert wurden. Ausserdem wurden die Beträge der Lotterien in Schweizer Franken angegeben und um einen Faktor 20 multipliziert. Dies sollte die Teilnehmenden motivieren, ihre Entscheidung genau zu überlegen. Dieser Test mit Beträgen, die um einen Faktor 20 skaliert wurden, wurde auch von Holt & Laury (2002) in dieser Art durchgeführt. Dabei haben die Autoren festgestellt, dass eine solche Multiplikation keinen Effekt auf die Risikoeinstellung hat, wenn das Spiel nur hypothetisch ist und der Gewinn nicht ausbezahlt wird.

Im Folgenden wird ein Überblick über die zehn Entscheidungen des Vortests zur Risikoeinstellung gegeben. Tabelle 1 stellt die Gewinne und deren Wahrscheinlichkeit für alle zehn Spiele dar.

Tabelle 1: Eigene Darstellung des Tests zur Risikoeinstellung nach (Holt & Laury, 2002). EG = erwarteter Gewinn. Die Teilnehmenden sehen nur die Informationen zu Lotterie A und B. Die erwarteten Gewinne werden nicht mitgeteilt.

Spiel	Lotterie A				Lotterie B				EG A	EG B	Differenz EG
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn [CHF]	Wahrscheinlichkeit	Gewinn [CHF]	Wahrscheinlichkeit	Gewinn [CHF]	Wahrscheinlichkeit	Gewinn [CHF]			
1	1/10	40.00	9/10	32.00	1/10	77.00	9/10	2.00	32.80	9.50	23.30
2	2/10	40.00	8/10	32.00	2/10	77.00	8/10	2.00	33.60	17.00	16.60
3	3/10	40.00	7/10	32.00	3/10	77.00	7/10	2.00	34.40	24.50	9.90
4	4/10	40.00	6/10	32.00	4/10	77.00	6/10	2.00	35.20	32.00	3.20
5	5/10	40.00	5/10	32.00	5/10	77.00	5/10	2.00	36.00	39.50	-3.50
6	6/10	40.00	4/10	32.00	6/10	77.00	4/10	2.00	36.80	47.00	-10.20
7	7/10	40.00	3/10	32.00	7/10	77.00	3/10	2.00	37.60	54.50	-16.90
8	8/10	40.00	2/10	32.00	8/10	77.00	2/10	2.00	38.40	62.00	-23.60
9	9/10	40.00	1/10	32.00	9/10	77.00	1/10	2.00	39.20	69.50	-30.30
10	10/10	40.00	0/10	32.00	10/10	77.00	0/10	2.00	40.00	77.00	-37.00

Jede Zeile stellt ein Spiel dar. Spalte zwei bis fünf zeigt Angaben über Lotterie A, Spalte sechs bis neun über Lotterie B. Alle Informationen in diesen Spalten wurden den Teilnehmenden nach und nach gezeigt. Wie man aus Tabelle 1 erkennen kann, bleiben die Gewinne immer die gleichen, deren Wahrscheinlichkeit jedoch wechselt pro Spiel. Der erwartete Gewinn erhöht sich also nach und nach. Da der Gewinnunterschied bei Lotterie B grösser ist, erhöht sich der erwartete Gewinn im Verlauf des Tests viel schneller. Die Differenz des erwarteten Gewinns zwischen Lotterie A und B wird in der letzten Spalte von Tabelle 1 angezeigt. Um diesen Wert zu berechnen wurde die Differenz des erwarteten Gewinns der Lotterie A und der Lotterie B berechnet. Wenn die Differenz zwischen Lotterie A und Lotterie B positiv ist, bedeutet dies, dass der erwartete Gewinn bei Lotterie A höher ist. Wenn dieser negativ ist, dann ist der erwartete Gewinn der Lotterie B höher.

Die Differenz zwischen Lotterie A und Lotterie B ist im ersten Spiel sehr gross. Diese verkleinert sich aber im Verlauf des Spiels, bis der erwartete Gewinn der Lotterie B den von Lotterie A im fünften Spiel überholt. Ein risikoneutraler Mensch, der die Lotterie mit dem höheren Erwartungswert präferiert, sollte sich in den ersten vier Spiele für Lotterie A und bei den restlichen Spielen für Lotterie B entscheiden (Ewald et al., 2012). Wechselt eine Testperson schon früher zu Lotterie B, dann weist er oder sie ein risikofreudiges Verhalten auf. Wählt ein Proband öfters als viermal Lotterie A, dann hat er oder sie eine risikoscheue Einstellung (Ewald et al., 2012).

Die Testpersonen hatten 10 Minuten Zeit, um die Aufgabe zu lösen. Dass der Test zum Ziel hatte, die Risikoeinstellung der Teilnehmenden zu messen, wurde ihnen zu keinem Zeitpunkt mitgeteilt.

3.4.3. Fragebogen zur räumlichen Strategie

Nachdem die Risikoeinstellung der Probanden gemessen wurde, wurde ihnen ein Fragebogen zur räumlichen Strategie nach Münzer & Hölscher (2011) zum Ausfüllen vorgelegt. Dabei mussten die Testpersonen selber ihre Navigations- und Orientierungsfähigkeiten einschätzen. Dieser Fragebogen basiert auf dem englischen *Santa Barbara Sense of Direction Test* nach Hegarty et al. (2002). Da alle Teilnehmenden über sehr gute Deutschkenntnisse verfügen, ist die Version von Münzer & Hölscher (2011) für diese Studie geeigneter.

Der Fragebogen gibt Hinweise, wie gut eine Person im Raum navigieren und sich orientieren kann. In geographischen Studien ist der Gebrauch des Fragebogens zur räumlichen Strategie sehr verbreitet (siehe z.B. Ishikawa & Takahashi, 2013; Frei, 2015). Da die Teilnehmenden meiner Studie bei der Hauptaufgabe eine Karte lesen müssen, könnte es sein, dass die räumlichen Denkfähigkeiten hierbei einen Einfluss auf das Verständnis der Visualisierung haben.

Dieser Test besteht aus 19 Aussagen, zu welchen sich drei Faktoren zuordnen lassen. Zehn dieser Aussagen, wie z.B. «Ich finde stets ohne Problem zu meinem Ziel», basieren auf dem Faktor *globale Selbsteinschätzung mit zusammenhängenden egozentrischen Strategien*. Sieben Aussagen, wie z.B. «Ich verfüge über eine sehr gute Vorstellung von meiner Stadt, wie auf einer Karte» beziehen sich auf den Faktor *allozentrische Überblickstrategie*. Die restlichen zwei Aussagen nehmen Bezug auf den Faktor

Himmelsrichtungen und lauten z.B. «Ich kann spontan zeigen, wo Norden, Süden, Osten und Westen liegt» (Münzer & Hölscher, 2011).

Für jede der 19 Aussagen mussten die Teilnehmenden ihre Zustimmung auf einer Skala von 1 bis 7 angeben. Im Original von Münzer & Hölscher (2011) steht 1 für eine hohe Zustimmung, während 7 für eine tiefe Zustimmung steht. Da aber für Schweizerinnen und Schweizer eine Skala, bei der 1 für «hoch» und 7 für «tief» steht, verwirrend sein kann (Frei, 2015), wurde die Skala umgedreht. Somit steht 1 für die tiefste Zustimmung und 7 für die höchste Zustimmung. Die Fragen wurden einzeln gezeigt. Der komplette Fragebogen ist in Anhang C ersichtlich.

3.4.4. Ablauf der Vortests

Die Teilnehmenden mussten zur vereinbarten Zeit direkt im Labor eintreffen. Die Testperson setzte sich daraufhin an einem Schreibtisch, wo er oder sie das Einverständnisformular vorfand (siehe Anhang B). Der Testperson wurde kurz der Ablauf der Studie und den Inhalt des Einverständnisformulars erklärt. Nachdem die Testperson das Einverständnisformular unterschrieben hatte, wurde er oder sie gebeten die Vortests durchzuführen.

Die Teilnehmenden haben zuerst den Vortest zur Risikoeinstellung, anschliessend den Vortest zu den räumlichen Denkfähigkeiten und am Schluss denn Vortest zur habituellen Angst gelöst. Die Vortests wurden nacheinander auf dem Bildschirm erklärt. Die Probanden konnten also ohne Unterbrechung alle drei Vortests durchführen. Den Teilnehmenden wurde mitgeteilt, dass sie sich bei der Studienleiterin melden sollten, sobald sie den Fragebogen abgeschlossen hatten.

3.5. Hauptexperiment

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob man mithilfe einer Karte, auf welcher die Unsicherheit bestimmter räumlicher Informationen visualisiert ist oder nicht, unterschiedliche Entscheidungen trifft. Um diese Frage zu beantworten, mussten die Testpersonen Entscheidungen mithilfe von Karten treffen, bei denen die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Informationen enthalten ist oder nicht. Das Szenario der Studie wurde so gewählt, dass die Unsicherheit der räumlichen Information eine wichtige Rolle bei der Entscheidung spielt.

Wie in der Einleitung dieser Arbeit aufgezeigt, ist es vor allem in gewissen Bereichen wichtig, bei Entscheidungen die Unsicherheit zu berücksichtigen. Dies ist z.B. bei der Risikoeinschätzung von Naturgefahren der Fall (Roth, 2009b). Das potenzielle Ausmass und die mögliche Ausdehnung einer Naturkatastrophe kann man nie endgültig festlegen. Aus diesem Grund ist die Vorhersage von Naturgefahren immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet (Kunz et al., 2011). Wenn man bei der Einschätzung von Naturgefahren die Unsicherheit nicht berücksichtigt und deshalb Fehlentscheidungen trifft, kann dies verheerende, wenn nicht sogar tödliche Folgen haben. In diesem Bereich ist es also essentiell, bei Entscheidungen alle Informationen über die Naturgefahr zu berücksichtigen (Kunz et al., 2011). Dies schliesst auch die Unsicherheit mit ein.

In der dicht besiedelten Schweiz⁵, wo viele Menschen in Gebieten leben, die potentiell von Naturkatastrophen betroffen sein können⁶, ist die Thematik auch für Hausbesitzer wichtig. Beim Hauskauf ist es deshalb sinnvoll, die Vorhersage von Naturgefahren zu beachten. In der Schweiz werden die Vorhersagen mithilfe von Gefahrenkarten kommuniziert. Eine Gefahrenkarte unterteilt eine Region in drei Zonen: Hohe, mittlere und tiefe Wahrscheinlichkeit und Intensität, von einer Naturkatastrophe betroffen zu sein.

Aus diesem Grund habe ich mich entschieden, die Teilnehmenden meiner Studie auf Basis einer Gefahrenkarte entscheiden zu lassen, welches Haus sie gerne kaufen möchten. Die Gefahrenkarten wurden in zwei Gruppe aufgeteilt: In einer ersten Gruppe wurde der schweizerische Visualisierungsstandard einer Gefahrenkarte benutzt. In der Standardvisualisierung wird die Unsicherheit nicht dargestellt (Kunz et al., 2011). Bei der zweiten Gruppe wurden die Grenzen zwischen den Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt. Für die Visualisierung der Unsicherheit wurden drei verschiedene Darstellungen gewählt.

Auf diesen Gefahrenkarten wurden den Testpersonen vier Häuser in Auswahl gestellt. Abgesehen von der Wahrscheinlichkeit einer Gefahr wurden für die vier Häuser noch der Preis und eine kurze Beschreibung der Lage angegeben. Die Teilnehmenden mussten sich aufgrund der Faktoren Gefahr, Lage und Preis für ein Haus entscheiden, welches sie gerne kaufen möchten. Die Erstellung der Studienmaterialien und die genaue Aufgabenstellung werden in den folgenden Kapiteln erläutert.

Da die Teilnehmenden bei ihrer Entscheidung drei Faktoren beachten mussten, handelt es sich hierbei um eine Multikriterien-Analyse. Die Multikriterien-Analyse wurde gewählt, um die Entscheidung komplexer

⁵ <http://www.avenir-suisse.ch/15211/wie-dicht-ist-die-schweiz-besiedelt/>, letzter Zugriff: 24.09.2016

⁶ <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/15218/index.html?lang=de>, letzter Zugriff: 24.09.2016

zu gestalten. Wie in Kapitel 2.6 schon erläutert, haben sich die bestehenden Studien über Unsicherheitsvisualisierung im Zusammenhang mit Entscheidungsfindung auf einfache Wahrnehmungsprozesse konzentriert (Smith et al., 2013). Smith et al. (2013) sind aber der Meinung, dass die zukünftige Forschung sich auf Studien mit komplexeren kognitiven Prozesse fokussieren sollte, um die Entscheidungsfindung unter Unsicherheit besser verstehen zu können. Da in einer Multikriterien-Analyse die Antwort nicht immer eindeutig ist und mehrere Variablen miteinander verglichen und abgewogen werden müssen, ist diese Analyse mit einer höheren kognitiven Belastung verknüpft. Aus diesem Grund habe ich mich für eine Multikriterien Analyse entschieden. Im Folgenden wird auf das Design und die Materialien des Hauptexperiments genauer eingegangen.

3.5.1. Design der Studie

Die Studie wird nach dem «within subject» Design (Martin, 2008) aufgebaut. Das heisst, alle Teilnehmenden werden alle Gefahrenkarten sehen: Sowohl die ohne Unsicherheit wie auch die mit Unsicherheit. Dies ermöglicht einen Vergleich zwischen der Entscheidungsfindung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit bei der gleichen Testperson. Ein möglicher Nachteil dieser Methode ist der mögliche Lerneffekt. Dies bedeutet, dass im Verlauf der Studie die Teilnehmenden lernen können, besser mit der Karte und den dargestellten Informationen umzugehen. Eine mögliche Folge dieses Lerneffekts könnte sein, dass die Probanden im Verlauf des Experiments ihre Entscheidungen schneller treffen (Martin, 2008).

Im Verlauf des Experiments werden die Teilnehmenden 16 Gefahrenkarten sehen. Bei jeder dieser Karte müssen die Probanden sich für ein Haus entscheiden, welches sie kaufen würden. Vier dieser Karten enthalten keine Visualisierung der Unsicherheit. In den restlichen 12 Karten wird die Unsicherheit der Grenzen der Gefahrenzonen visualisiert. Es werden drei verschiedene Visualisierungen für die Unsicherheit eingesetzt: Farbhelligkeit, Verschwommenheit und Textur (genauere Beschreibung siehe Kapitel 3.5.2). Pro Visualisierung werden die Teilnehmenden vier verschiedene Karten sehen. Da die Unsicherheit direkt in der Gefahrenkarte visualisiert wird, handelt es sich um bivariate Karten. Ausserdem sind alle drei Visualisierungsvarianten intrinsische Darstellungen. Die intrinsische Darstellungsvariante wurde ausgewählt, weil Viard et al. (2011) festgestellt haben, dass diese bei komplexen Fragestellungen zu einer höheren Genauigkeit bei der Interpretation der Karte führt.

Um zu verhindern, dass das Experimente länger als eine Stunde dauert, habe ich mich dafür entschieden den Teilnehmenden nur 16 Karten zu zeigen. Ausserdem schwindet die Konzentration der Testpersonen sehr schnell und die letzten Entscheidungen sind nicht so überlegt wie die ersten. Dieser Effekt sollte aber bei 16 Karten gering bleiben. Abbildung 24 zeigt eine Zusammenfassung der Struktur des Hauptexperiments.

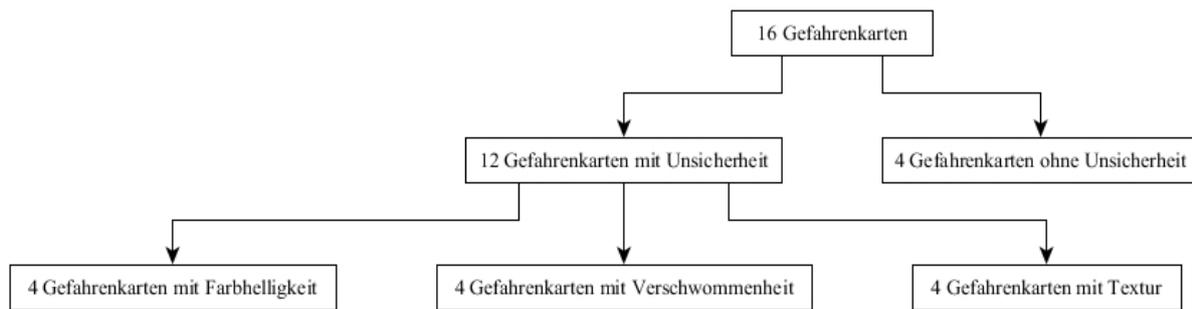


Abbildung 24: Struktur des Hauptexperiments

In der Hauptstudie stellen die An- und Abwesenheit der Visualisierung der Unsicherheit der Grenzen und die Darstellungsart die unabhängigen Variablen dar. Bei Änderungen der unabhängigen Variable kommen Variationen bei den abhängigen Variablen vor (Martin, 2008). Die abhängigen Variablen werden aus diesem Grund während der Studie gemessen (Martin, 2008). Für die Beantwortung meiner Forschungsfragen werden das Ergebnis der Entscheidung, die benötigte Zeit und die Augenbewegungen gemessen.

Vor dem Hauptexperiment wird den Teilnehmenden das wahre Ziel der Studie nicht erklärt. Die Teilnehmenden glauben, dass die Studie dazu dient verschiedene Darstellungen von Gefahrenkarten zu testen. Wie weiter unten in diesem Kapitel (siehe Kapitel 3.5.3) noch erklärt, wird Unsicherheit im Szenario des Experiments nur nebenbei erwähnt. Es wird zu keinem Zeitpunkt darauf hingedeutet, dass die verschiedenen Visualisierungen Unsicherheit darstellen sollen. Der Grund dafür ist, dass ich testen will, wie intuitiv die verschiedenen Darstellungen für die Visualisierung der Unsicherheit sind. Die Teilnehmenden sollten von sich aus verstehen können, dass in den Gefahrenkarten Unsicherheit visualisiert wird, ohne dass es ihnen erklärt wird.

Die Teilnehmenden werden im Experiment in drei Gruppen (im Folgenden auch Serien genannt) aufgeteilt. Jede Serie wird die Karten in einer anderen, zufälligen Reihenfolge sehen. Die Reihenfolge bleibt aber innerhalb der Serie bestehen. Mit diesem Verfahren möchte ich den oben genannten Lerneffekt kontrollieren. Falls alle Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit am Anfang vorkommen würden, könnte dies zu Verzerrungen der Resultate führen. Durch die zufällige Reihenfolge wird sichergestellt, dass auch wenn ein Lerneffekt vorkommt, dieser nicht die Ergebnisse der einzelnen Visualisierungen beeinflusst. Dank dieser Vorgehensweisen ist ein Ziel dieser Arbeit, den Einfluss von verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit auf Entscheidungen zu untersuchen, gesichert.

3.5.2. Materialien des Hauptexperiments

In diesem Kapitel werden die Materialien des Hauptexperiments sowie die Methoden, wie diese hergestellt wurden, beschrieben. Für die Hauptaufgabe wurden verschiedene Gefahrenkarten und einen Eye Tracker benutzt.

Basiskarte

Um die Gefahrenkarten zu erstellen, wurde zuerst eine Hintergrundkarte gewählt und dann die Gefahrenzonen darüber gezeichnet. Die Hintergrundkarten wurden der offiziellen Webseite des Bundesamtes für Landestopografie Swisstopo⁷ entnommen. Aus dem Geokatalog wurde die Landeskarte in schwarz-weiss gewählt, da die Darstellung ohne Farben sich besser als Hintergrundkarte für die Gefahrenzonen eignet. Die Projektion der Karten ist CH1903+ / LV95 und der Massstab 1:2'500.

Bei der Auswahl der Ortschaften war es wichtig Dörfer zu wählen, welche den Teilnehmenden nicht bekannt sind. In diesem Zusammenhang hat Deitrick (2007) festgestellt, dass das lokale Vorwissen Vorteile bei einer Entscheidung bringen kann. Es durften diesbezüglich keine Hinweise auf der Karte vorhanden sein. Ein Strassenamen, ein markantes Gebäude oder sonstige Namen hätten den Teilnehmenden helfen können, das Dorf zu erkennen. Es war also wichtig nur Kartenausschnitte zu wählen, welche keine Schriften enthalten. Um die Erkennbarkeit der Ortschaft weiter zu erschweren, wurden alle Karten um 180° rotiert.

Da die meisten Teilnehmenden aus der Deutschschweiz stammen und im Speziellen aus dem Kanton Zürich und Umgebung, wurden Ortschaften aus dieser Region ganz ausgelassen. Es wurden ausserdem Ortschaften gewählt, die entweder an einem See oder Fluss oder die in einer bergigen Region liegen. Die Teilnehmenden sahen nur einen kleinen Ausschnitt der Ortschaft und nicht das ganze Dorf. Alle Ortschaften, die für diese Studie gewählt wurden, sind in Tabelle 2 aufgelistet.

⁷ <https://map.geo.admin.ch>, letzter Zugriff: 4.08.2016

Tabelle 2: Liste der in dieser Studie vorkommenden Ortschaften

Ortschaft	Kanton
Castagnola	TI
Coldrerio	TI
Freienbach	SZ
Gambarogno	TI
Maggia	TI
Melano	TI
Morbio Inferiore	TI
Piazzogna	TI
Pully	VD
Riva San Vitale	TI
Ronco Sopra Ascona x2	TI
Saas Fee	VS
Scesana	TI
St. Moritz	GR
Thun	BE

Gefahrenzonen

Auf den Hintergrundkarten wurden die Gefahrenzonen mithilfe von Adobe Illustrator CS6⁸ von Hand gezeichnet. In Abbildung 25 ist ein Beispiel einer Gefahrenkarte bei der Stadt Locarno ersichtlich.

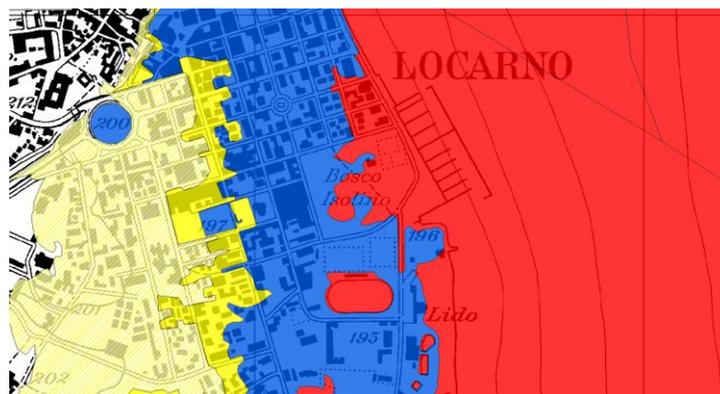


Abbildung 25: Offizielle Gefahrenkarte für einen Ausschnitt der Stadt Locarno. Rechts befindet sich der See. Massstab: 1: 5'000. Quelle: <http://www.sitmap.ti.ch/index.php?ct=pericolie>

Bei einer Gefahrenkarte stellen die unterschiedlichen Farben die Wahrscheinlichkeit und die Stärke einer Naturkatastrophe in einer gewissen Umgebung dar (Trau & Hurni, 2007). Zu den möglichen

⁸ <http://www.adobe.com/products/illustrator.html>, Graphik- und Zeichenprogramm.

Naturkatastrophen gehören z.B. Überschwemmungen, Lawinen und Murgänge. Abbildung 26 stellt die Matrix zur Ermittlung der Gefahrenstufe in der Schweiz dar.

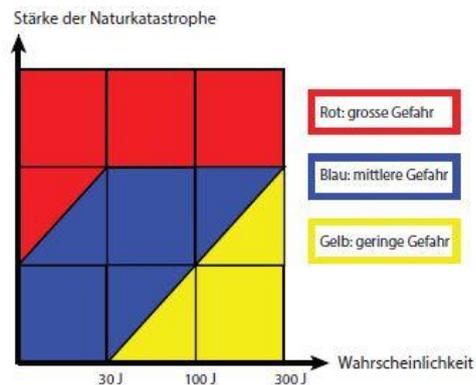


Abbildung 26: Matrix zur Ermittlung der Gefahrenstufen (eigene Darstellung nach Trau & Hurni, 2007)

Gebiete mit einer geringen Gefahr werden der gelben Klasse zugewiesen. In diesen Gebieten ist die Wahrscheinlichkeit einer Naturkatastrophe und dessen Stärke gering. Die blauen Zonen sind Gebiete mit einer mittleren Gefährdung. Die rote Klasse steht für Gebiete, in welchen eine hohe Wahrscheinlichkeit von starken Naturkatastrophen vorliegt (Trau & Hurni, 2007).

Die in dieser Studie dargestellten Gefahrenzonen entsprechen nicht der Realität. Es gibt verschiedene Gründe für diese Wahl. Zum einem ist es in der Schweiz Standard, bei der Berechnung der Gefahrenzonen deterministische Modelle anzuwenden (Kunz et al., 2011). Die Schweizer Richtlinie erwähnt zu keinem Zeitpunkt die Berücksichtigung von Unsicherheit in Gefahrenkarten. Um reale Gefahrenkarten mit Visualisierung der Unsicherheit in der Schweiz zu generieren, fehlt es deshalb an Daten und an einfach anwendbaren, probabilistischen Modellen (Kunz et al. 2011). Des Weiteren haben die Zonen einer Gefahrenkarte sehr unterschiedliche und zum Teil auch komplexe Formen. Um sicherzustellen, dass diese verschiedenen Geometrien keinen Einfluss auf die Testperson haben, wurden die Formen der Zonen kontrolliert (genaue Beschreibung, siehe weiter unten Kapitel «Geometrie der Gefahrenzonen»). Durch die Kontrolle der Geometrie war es schlussendlich unmöglich, reale Gefahrenkarten einzusetzen.

Für die Gestaltung der Zonen wurde aber berücksichtigt, dass diese möglichst realistisch sind. Wie schon erwähnt wurden Ortschaften gewählt, welche sich in den Bergen mit steilen Hängen oder in der Nähe eines Sees oder eines Flusses befinden. Die Gefahr in diesen Zonen ist tatsächlich vorhanden, auch wenn die Ausdehnung, welche in dieser Studie gezeigt wird, nicht der Realität entspricht. Die Gefahrenzonen wurden also nicht komplett willkürlich eingezeichnet, sondern haben einen Bezug zur Realität. Für die Darstellung der Gefahrenzonen wurden vier verschiedene Visualisierungsarten gewählt, welche in

Abbildung 27 dargestellt sind. Diese vier Visualisierungen werden im Folgenden einzeln erklärt.

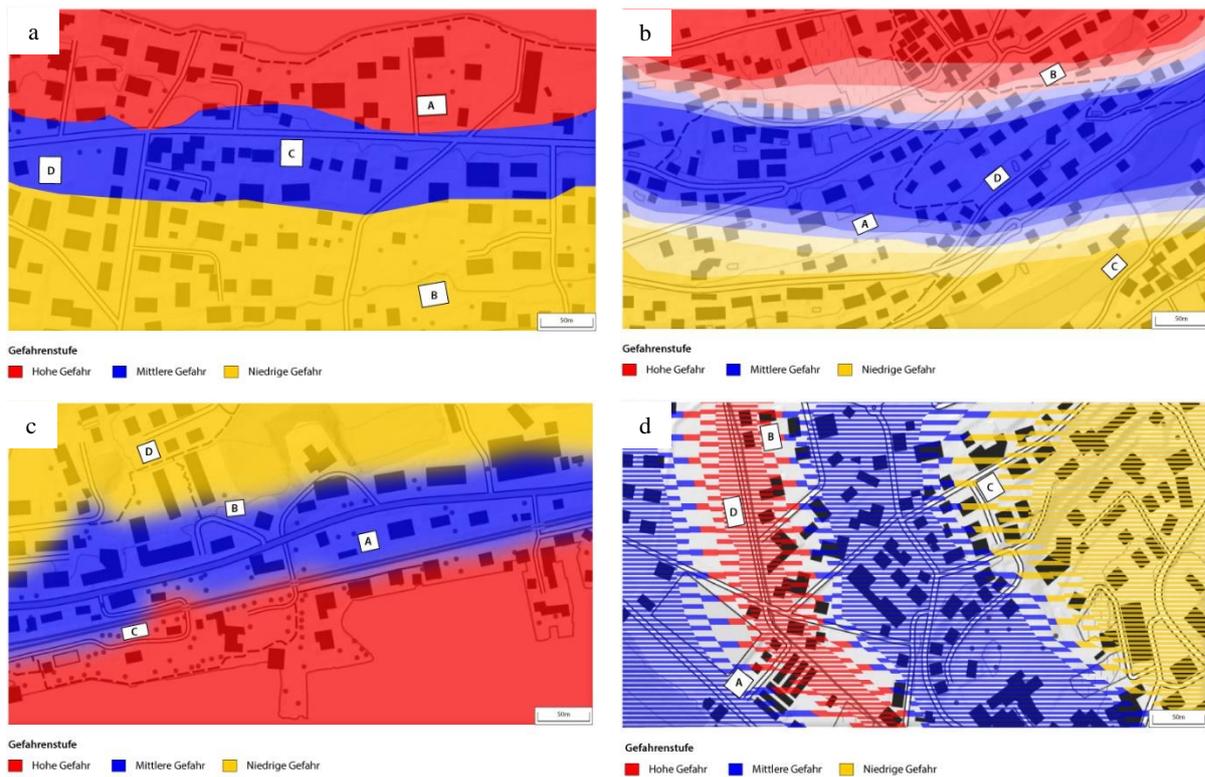


Abbildung 27: Unterschiedliche Darstellungen der Gefahrenzonen. Gefahrenzonen ohne Unsicherheit (a), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Farbhelligkeit (b), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Verschwommenheit (c), Gefahrenzonen mit Unsicherheit dargestellt mit Textur (d)

Darstellung ohne Unsicherheit

Schweizer Gefahrenkarten enthalten üblicherweise keine Darstellung von Unsicherheit. Wie oben schon erwähnt, steht nirgendwo in den Schweizer Richtlinien, dass die Unsicherheit in Gefahrenkarten berücksichtigt werden muss (Kunz et al., 2011). Ein Beispiel einer in dieser Studie genutzte Gefahrenkarte ohne Visualisierung der Unsicherheit, in welcher die zur Auswahl stehenden Häuser schon eingezeichnet sind, ist in Abbildung 28 ersichtliche.



Abbildung 28: Gefahrenzonen ohne Visualisierung der Unsicherheit

In der obigen Abbildung erkennt man sofort, dass die Grenzen zwischen den Gefahrenzonen mit einer durchgehenden Linie dargestellt werden. Es scheint, als ob sich die Wahrscheinlichkeit und die Stärke einer

Naturgefahr abrupt verändern würde. Die gewählten Farben entsprechen dem schweizerischen Standard für Gefahrenkarten. Vier Karten, welche die Teilnehmenden im Hauptexperiment sehen werden, bilden diese Darstellung der Gefahrenzonen ab. Da diese Karten keine Visualisierung der Unsicherheit aufweisen, fungieren sie als Kontrolle, um den Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit messen zu können.

Darstellung der Unsicherheit: Farbhelligkeit

Als erste Darstellung der Unsicherheit wurde die Farbhelligkeit gewählt. Wie im Forschungskontext (siehe Kapitel 2.4.1) bereits erläutert, haben MacEachren et al. (2012) festgestellt, dass diese Visualisierungsart für die Darstellung der Unsicherheit nützlich sein kann. In der Studie von MacEachren et al. (2012) haben die Teilnehmenden angegeben, dass sie die Farbhelligkeit als eine der drei intuitivsten Darstellungen für Unsicherheit empfinden. Dabei sollte die dunklere Farbe Sicherheit und die hellere Farbe Unsicherheit darstellen (MacEachren et al. 2012).

Gewisse Autoren empfehlen den Gebrauch von Farbhelligkeit für die Visualisierung der Unsicherheit auch bei Gefahrenkarten. Trau & Hurni (2007) haben z.B. eine Liste der graphischen Variablen zusammengestellt, die für die Darstellung der Unsicherheit in Gefahrenkarten geeignet sind. Diese Liste basiert auf den Papieren von MacEachren (1992), McGranaghan (1993), van der Wel et al. (1994), Aerts et al. (2003), Oehler (2005), MacEachren et al. (2005) und weiteren Überlegungen von Trau & Hurni (2007). Zu dieser Liste gehört auch die graphische Variable Farbhelligkeit.

Auch Pang (2008) erwähnt die graphische Variable Farbhelligkeit als eine geeignete Visualisierung von Unsicherheit in Gefahrenkarten. Des Weiteren sind auch Kunz et al. (2011) der Meinung, dass diese Methode der Darstellung der Unsicherheit in einer Gefahrenkarte sinnvoll ist. Kunz et al. (2011) halten fest, dass dunkle Farben mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Wenn dunklere Farben also für die Darstellung der Sicherheit eingesetzt werden, kann der Kartennutzende sich mehr auf die sicheren Daten konzentrieren. All dies spricht für einen Einsatz der Farbhelligkeit in dieser Studie. Ein Beispiel einer Gefahrenkarte, wie sie in dieser Studie eingesetzt wurde, ist in Abbildung 29 zu sehen.

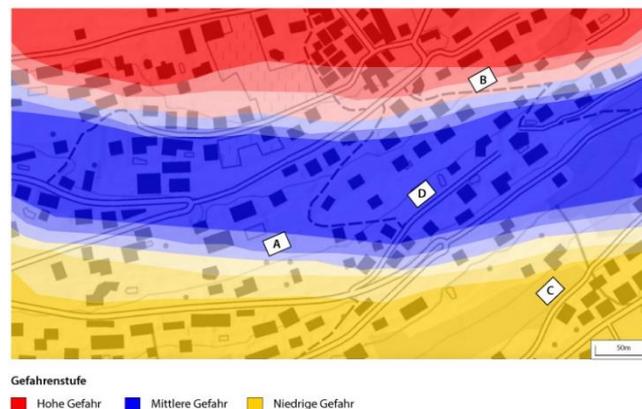


Abbildung 29: Gefahrenzone mit Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit.

Um die Unsicherheit mithilfe von Farbhelligkeit darzustellen, wurde die Grenze zwischen zwei Zonen in vier Gebieten aufgeteilt. Diese sind mit helleren Farben dargestellt als die Gefahrenzone selbst. Diese

Gebiete sollten der Testperson vermitteln, dass die Zuweisung der Gefahrenzonen nicht mehr so deutlich ist. Beispiel: In der dunkelroten Zone ist das Gebiet sicher stark von Naturgefahren gefährdet. Bei der etwas helleren roten Zone ist die Zuweisung zur höchsten Gefahrenstufe nicht eindeutig. Noch weniger sicher ist die zugewiesene Gefahrenzone für die ganz hellrote Zone. Das hellrote Gebiet könnte vielleicht auch zur blauen Gefahrenzone gehören und somit nur einer mittleren Gefährdung ausgesetzt sein. Diese Überlegung gilt auch für die blaue und die gelbe Zone. Die Grenze wird, im Gegensatz zu den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit, nicht mehr als strikte Linie dargestellt. Die gewählten Farben nach RGB Schema sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Gewählte Farben für die Darstellung mit Unsicherheit nach dem RGB Schema

Farbe	Dunkel	Mittel	Hell
Rot	255, 0, 0	255, 102, 102	255, 179, 179
Blau	0, 0, 255	102, 102, 255	179, 179, 255
Gelb	255, 204, 0	225, 224, 102	255, 240, 179

Alle Farben, die für diese Studie notwendig waren, wurden mithilfe des «color pickers» von w3school⁹ ausgewählt. Für die Umsetzung der Gefahrenkarten wurden die verschiedenen Zonen auf der Hintergrundkarte von Hand eingezeichnet. Jede Zone wurde nach den entsprechenden Farben in Tabelle 3 eingefärbt. Die Transparenz beträgt 70% für alle Zonen. Somit ist die Hintergrundkarte noch gut erkennbar.

Darstellung der Unsicherheit: Verschwommenheit

Die zweite eingesetzte graphische Variable für die Visualisierung der Unsicherheit in den Gefahrenkarten ist die Verschwommenheit. Wenn man diese Art der Darstellung einsetzt, dann wendet man einen probabilistischen Ansatz an. Bei dieser Logik ist die Zugehörigkeit eines Objektes zu einer Klasse nur partiell (Longley et al., 2005). Dies bedeutet, dass ein Objekt oder eine Region zu mehreren Klassen gleichzeitig gehören könnte (Longley et al., 2005). Schon 1993 beschrieb McGranaghan (1993) die Verschwommenheit als geeignete Visualisierung für Unsicherheit. Diese Art von Darstellung deutet darauf hin, dass eine Linie - in diesem Fall eine Grenze - sich in einer gewissen Zone befindet, ohne aber die genaue Position anzugeben (McGranaghan, 1993).

Die Wahl dieser Darstellung basiert vor allem auf dem Papier von MacEachren et al. (2012). Die graphische Variable Verschwommenheit wurde in ihrer Studie als intuitivste Variable für die Darstellung von Unsicherheit empfunden. Ausserdem eignet sich die Verschwommenheit ebenfalls dazu, die Unsicherheit in Gefahrenkarten zu visualisieren (Trau & Hurni, 2007; Pang, 2008, Kunz et al. 2011). Kunz et al. (2011) erwähnen auch die Tatsache, dass diese Visualisierungsart sehr intuitiv und weit verbreitet und deshalb auch bekannt ist. Der Effekt der Kombination der graphischen Variablen Farbton und Verschwommenheit, um zwei räumliche Informationen zu visualisieren, wurde ausserdem noch nicht empirisch getestet (Retchless & Brewer, 2016). Dies waren für mich plausible Gründe, diese Art der

⁹ http://www.w3schools.com/colors/colors_picker.asp, letzter Zugriff: 5.08.2016

Darstellung zu wählen. Ein Beispiel einer Gefahrenkarte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit, die in dieser Studie eingesetzt wurde, ist in Abbildung 30 ersichtlich.



Abbildung 30: Beispiel einer Gefahrenkarte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit

Wie man aus der obigen Abbildung erkennen kann, ist die Grenze der Gefahrenzonen verschwommen dargestellt. Im Gegenteil zur Darstellung ohne Unsicherheit und der Darstellung mit Farbhelligkeit ist hier keine klare Grenze zwischen den Gefahrenzonen erkennbar. Die Grenze wird als kontinuierlichen Übergang dargestellt.

Die Farben der Gefahrenzonen sind die gleichen wie die in Tabelle 3 für die Spalte dunkel. Für die Umsetzung in Adobe Illustrator CS6 wurden die drei Gefahrenzonen separat eingezeichnet. Dann wurden alle drei Zonen ausgewählt und unter Effekte wurde der sogenannte «Gaussian Blur», gewählt. Dem Radius wurde einen Wert von 15 zugeteilt. Somit erhält man den in Abbildung 30 dargestellten Effekt. Auch in diesem Fall hatten die Farben eine Transparenz von 70%.

Darstellung der Unsicherheit: Textur

Die letzte graphische Variable, die in dieser Arbeit für die Visualisierung der Unsicherheit eingesetzt wurde, ist die Textur. Für die Textur wurden horizontale Linien verwendet. Dabei wurden der Abstand und die Breite der Linie manipuliert um verschiedene Stufen der Unsicherheit darzustellen. Leitner & Buttenfield (2002) haben in ihrer Studie herausgefunden, dass diese Art der Visualisierung der Unsicherheit zu einer hohen Anzahl an korrekten Entscheidungen geführt hat. Des Weiteren sind Trau & Hurni (2007) und Pang (2008) der Meinung, dass Textur eine geeignete Darstellung für die Visualisierung von Unsicherheit in Gefahrenkarten sein könnte.

Hinzu kommt die Tatsache, dass diese graphische Variable komplett anders als die vorherigen ist. Somit ergibt sich ein interessanter Vergleich zwischen drei relativ verschiedenen Visualisierungsarten.

Bei dieser graphischen Variable ist aber zu beachten, dass sie deutlich weniger intuitiv für die Visualisierung der Unsicherheit ist, als die Farbhelligkeit oder die Verschwommenheit (MacEachren et al., 2012). In Abbildung 31 ist eine Karte, die für diese Studie eingesetzt wurde, ersichtlich, bei welcher die Unsicherheit durch Textur visualisiert wurde.

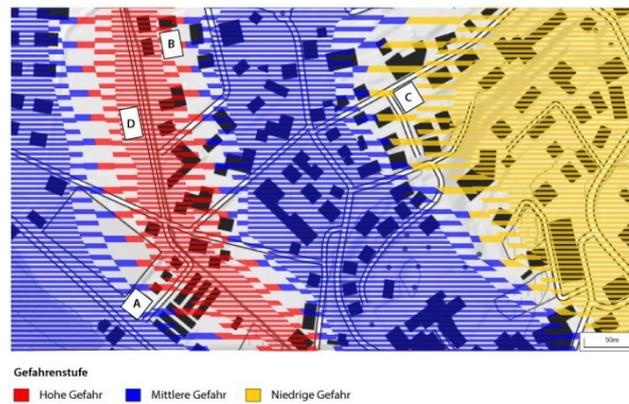


Abbildung 31: Beispiel einer Gefahrenkarte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Textur

Wie schon im Fall der Farbhelligkeit wurde die Grenzzone in vier Gebiete aufgeteilt. Gebiete, in denen die Linien dünn und nahe beieinanderliegen, können mit hoher Wahrscheinlichkeit einer Gefahrenzone zugewiesen werden. Je fetter die Linie und je grösser der Abstand zwischen ihnen, desto höher ist die Unsicherheit.

Für die Umsetzung in Illustrator wurde das «Blend» Instrument genutzt. Dieses erlaubt es, die selbe Form gleichmässig über eine Fläche verteilt zu wiederholen. Für die Zonen, die sicher sind, ist die Linie 3 pt. breit, für die mittlere unsichere Zone 5 pt. und für die sehr unsichere Zone 7 pt. Die Farben sind dieselben wie in Tabelle 3 unter der Spalte dunkel. Die Transparenz beträgt bei der roten und blauen Zone 70%. Für die gelbe Zone wurde sie auf 80% erhöht, weil sonst die Streifen nicht klar erkennbar waren.

Geometrie der Gefahrenzonen

Reale Gefahrenzonen können sehr unterschiedliche Formen haben. Diese verschiedenen Geometrien der Gefahrenzonen könnten aber einen Einfluss auf die Entscheidung haben. Diesbezüglich halten Wolfe & Horowitz (2004) fest, dass die graphische Variable Form möglicherweise einen Einfluss auf die visuelle Aufmerksamkeit hat. Dies bedeutet, dass gewisse Formen die Aufmerksamkeit des Betrachters auf sich lenken. Somit fokussiert sich ein Teilnehmende nur auf eine gewisse Region der Karte, weil die dort vorkommenden Formen seinen Blick anziehen. Die Entscheidung sollte aber nicht anhand der Form der Gefahrenzone getroffen werden, sondern anhand der Gefahr selbst, des Preises und der Lage. Ausserdem kann man komplizierte Geometrien schlechter vergleichen und dies könnte zu Verzerrungen beim Vergleich der verschiedenen Darstellungsarten führen.

Aus diesen Gründen habe ich mich entschieden die Geometrien der Gefahrenzonen zu kontrollieren. Zu diesem Zweck habe ich vier verschiedene Geometrien definiert: Horizontal, vertikal, verzweigt und geteilt. Pro Visualisierungsart wurde eine Karte je einer der definierten Geometrien zugeteilt. Somit sehen die Testpersonen für jede Darstellung eine Karte mit horizontalen Zonen, eine Karte mit vertikalen Zonen, eine Karte mit verzweigten Zonen und eine Karte mit geteilten Zonen. Ein Beispiel der vier Geometrien für die Darstellung ohne Unsicherheit ist in Abbildung 32 ersichtlich.

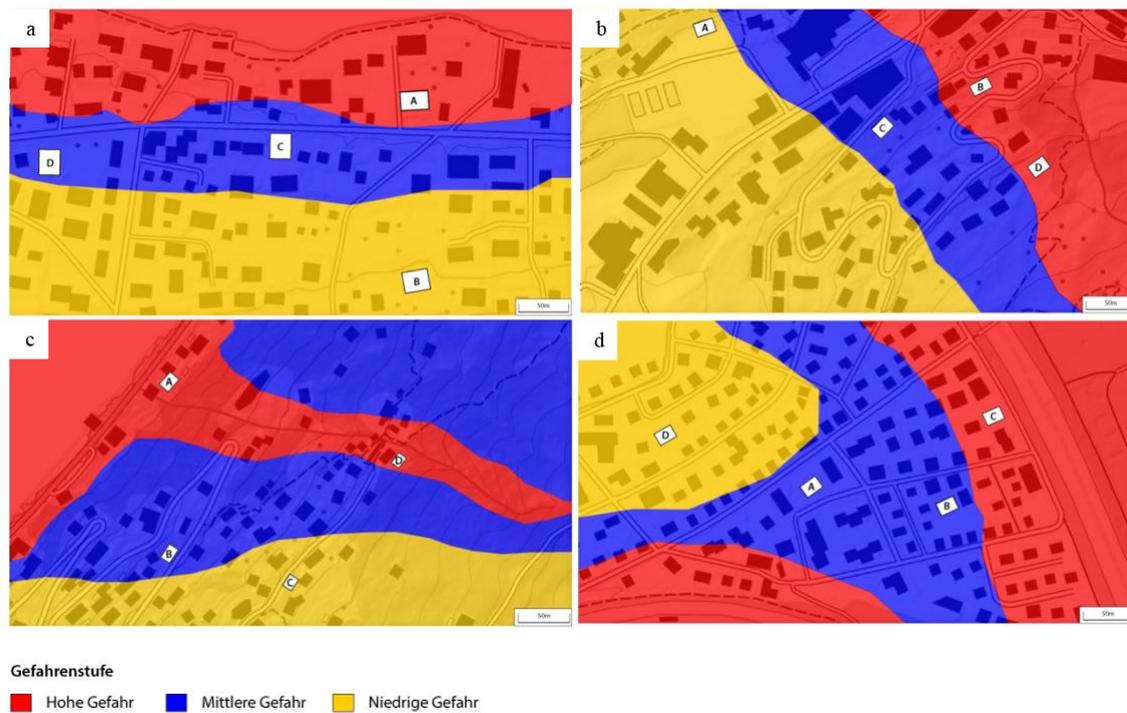


Abbildung 32: Darstellung der vier Geometrien für die Karten ohne Unsicherheit: Horizontal (a), vertikal (b), verzweigt (c) und geteilt (d)

Häuser in den Karten

Wie schon erwähnt, mussten sich die Teilnehmenden mithilfe der Gefahrenkarten zwischen vier Häusern für eines entscheiden, welches sie gerne kaufen möchten. Die zur Auswahl stehenden Häuser werden mit einem der vier Buchstaben A, B, C oder D gekennzeichnet. Die Häuser besitzen alle 5 bis 6½ Zimmer. Für jedes gekennzeichnete Haus wurde auch der Preis sowie eine Beschreibung der Lage angegeben. Für beide Faktoren bestehen drei Klassen: «Tiefen», «mittleren» oder «hohen» Preisklassen und «schlechte», «mittlere» oder «gute» Lage.

Der Preis für ein Haus mit 5 bis 6½ Zimmer wurde mithilfe von Comparis¹⁰ festgelegt. Hierfür wurde eine Karte zu Rate gezogen, welche schweizweit die Preise für die entsprechenden Häuser darstellt. Anhand der dort definierten Klassen wurden die Preiskategorien, welche in Tabelle 4 ersichtlich sind, festgelegt.

Tabelle 4: Preiskategorien für Häuser mit 5 bis 6½ Zimmer

Kategorie	Untere Grenze [CHF]	Obere Grenze [CHF]
Tief	500'000	800'000
Mittel	800'001	1'200'000
Hoch	1'200'001	2'000'000

Um die Lage der Häuser zu beschreiben wurden hedonische Modelle zu Rate gezogen. Unter «hedonisch» versteht man, dass alle Eigenschaften einer Immobilie, welche einen Nutzen bringen, bei der Preisbestimmung berücksichtigt werden (Brühlmann & Leutenegger, 2014). Das hedonische Modell geht

¹⁰ <https://www.comparis.ch/immobilien/immobilienpreise.aspx> Letzter Zugriff: 6.08.2016

also davon aus, dass die Eigenschaften eines Hauses dessen Preis massgeblich entscheiden (Müri Leupp et al., 2014). Dank statischem Analyseverfahren kann man die Beziehung zwischen dem Preis und den Hauseigenschaften untersuchen (Wuest & Partner, 2013). Somit kann auch vorhergesagt werden, wie viel man für eine Immobilie verlangen kann, wenn gewisse Eigenschaften vorhanden sind (Wuest & Partner, 2013). Als preistreibende Faktoren gelten z.B. die Grundstückfläche, das Alter, die Anzahl Zimmer, der Ausbaustandard (Brühlmann & Leutenegger, 2014).

Neben den eben genannten Faktoren hat auch der Standort der Immobilie einen Einfluss auf den Preis (Müri Leupp et al., 2014). Der Standort kann in zwei Kategorien unterteilt werden: Die Makrolage und die Mikrolage. Zur Makrolage gehören Faktoren wie z.B. Fahrzeit zum nächsten Zentrum, Erreichbarkeit von Arbeitsplätzen und Steuerbelastung (Müri Leupp et al., 2014). Die Mikrolage wird durch Faktoren wie Aussicht auf den See oder Belastung durch Lärm beschrieben (Müri Leupp et al., 2014). Es gibt Faktoren, die eine Erhöhung des Preises verursachen, wie z.B. eine gute Seesicht. Andere, wie z.B. eine hohe Lärmbelastung, lassen den Preis einer Immobilie sinken.

Für die Beschreibung der Lage wurden in dieser Studie nur Faktoren der Mikrolage berücksichtigt. Die Faktoren der Mikrolage sind Eigenschaften des Hauses selber. Da auf den Gefahrenkarten nur ein kleiner Ausschnitt der Ortschaft dargestellt ist, ist es nicht sinnvoll Faktoren der Makrolage zu erwähnen. Immobilien mit einer «schlechten» Lage wurde eine preissenkende Eigenschaft zugewiesen. Im Gegensatz dazu wurde den Häusern mit einer «mittleren» Lage eine bzw. für Häuser mit «guter» Lage zwei preistreibende Eigenschaften zugewiesen. Somit sind Immobilien mit einer «schlechten» Lage negativ konnotiert, während Häuser mit einer «mittleren» Lage positiv und die mit «guter» Lage doppelt positiv konnotiert sind.

Die positiven Eigenschaften, die in dieser Arbeit für die Beschreibung der Häuser mit einer «mittleren» oder mit «guten» Lage verwendet wurden, sind Folgende:

- Abendsonne
- Ganzes Jahr über sonnig
- Aussicht auf See, Berg, Tal oder Ebene
- Unverbaubare Aussicht
- Nähe zum See (Distanz < 50m), Natur, Fluss
- Exposition nach Süden

Die negativen Faktoren, die für die Beschreibung der Häuser mit «schlechter» Lage eingesetzt wurden, sind Folgende:

- Ganzes Jahr über schattig
- Keine oder eingeschränkte Aussicht
- Liegt an einem steilen Hang
- Liegt in einer Vertiefung

Diese Faktoren wurden mithilfe der Berichte von Müri Leupp et al. (2014), Brühlmann & Leutenegger (2014) und Wuest & Partner (2013) zusammengestellt. Alle Beschreibungen, die in dieser Studie eingesetzt wurden, sind in den Gefahrenkarten in den Anhängen F, G und H ersichtlich.

Für jeden Faktor Gefahr, Lage und Preis wurden somit drei Klassen festgelegt. Jedes zur Auswahl stehendes Haus sollte pro Faktor einer dieser Klassen zugewiesen werden. Für jedes Haus muss somit eine Kombination der drei Klassen der Faktoren Gefahr, Lage und Preis definiert werden. Die Definition der Kombinationen erwies sich als relativ komplex, da es für diese Arbeit wichtig war, die Auswahl zwischen den vier Häusern nicht allzu trivial zu gestalten. Zum Beispiel wäre die Entscheidung zu einfach, wenn das billigste und bestgelegene Haus in der gelben Gefahrenzone liegen würde. Dieses Haus wäre mit Abstand das Beste und würde wahrscheinlich von allen Testpersonen gewählt. Dies musste unbedingt verhindert werden, da die Teilnehmenden alle drei Aspekte Gefahr, Lage und Preis bei ihrer Entscheidung berücksichtigen sollten. Ausserdem wäre eventuell die Vermutung aufgekommen, dass es eine korrekte oder bessere Antwort gibt. In diesem Experiment sollte es aber keine richtigen oder falschen Entscheidungen geben.

Um eine sinnvolle Kombination der Faktoren Gefahr, Lage und Preis für jedes Haus zu definieren, wurden vier sogenannte Varianten festgelegt. Pro Variante wurde für jedes der vier zur Auswahl stehenden Häuser eine Kombination von Gefahr, Lage und Preis festgelegt. Dank diesem Verfahren sollte sichergestellt sein, dass innerhalb einer Variante kein Haus deutlich besser abschneidet als die restlichen drei. Somit sollte die Entscheidung pro Karte nicht allzu trivial sein. Die vier Varianten sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Die vier Varianten mit den vier Häusern und deren Eigenschaften

	Gefahr	Lage	Preis
Variante 1			
Haus A	hoch	gut	hoch
Haus B	mittel	schlecht	mittel
Haus C	tief	mittel	hoch
Haus D	hoch	schlecht	hoch
Variante 2			
Haus A	hoch	gut	tief
Haus B	tief	gut	hoch
Haus C	mittel	mittel	mittel
Haus D	mittel	schlecht	tief
Variante 3			
Haus A	tief	mittel	hoch
Haus B	mittel	schlecht	tief
Haus C	mittel	gut	hoch
Haus D	hoch	mittel	tief
Variante 4			
Haus A	hoch	schlecht	tief
Haus B	tief	schlecht	hoch
Haus C	hoch	gut	mittel
Haus D	mittel	mittel	hoch

Im Folgenden wird Variante 1 näher erläutert. Man erkennt, dass Haus A zwar an einer guten Lage liegt, gleichzeitig aber einer hohen Gefahr ausgesetzt ist und der Kaufpreis sehr hoch ist. Haus B ist einer geringeren Gefahr ausgesetzt und kostet etwas weniger, die Lage ist aber schlecht. Haus C ist das sicherste Haus in der Auswahl, liegt an einer mittleren Lage, der Kaufpreis ist aber sehr hoch. Zum Schluss hat Haus D einen hohen Kaufpreis, obwohl es in der höchsten Gefahrenzone und an einer schlechten Lage liegt. Man erkennt also, dass es bei dieser Auswahl keine «beste» Lösung gibt. Der Entscheidungstragende muss alle drei Faktoren Gefahr, Lage und Preis abwägen und seine Prioritäten setzen. Das gilt auch für die anderen drei Varianten. Jeder Gefahrenkarte, in Abhängigkeit von Serie und Geometrie der Gefahrenzone, wurde eine der vier Varianten zugeteilt.

Des Weiteren rotierten die Buchstaben der Häuser (siehe Tabelle 6). Dies bedeutet, dass die Buchstaben innerhalb einer Variante gewechselt wurden, womit sichergestellt wird, dass z.B. Haus A in der ersten Variante nicht immer in der roten Gefahrenzone liegt, eine gute Lage besitzt und einen hohen Kaufpreis hat. Dadurch wird kontrolliert, dass die Teilnehmenden kein Muster bei den Eigenschaften der Häuser erkennen können, sondern die Eigenschaften der Immobilie genau betrachten müssen.

Des Weiteren wurde in den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit definiert, welches Haus sich in einer sicheren Zone und welches Haus sich in einer unsicheren Zone befindet. Damit auch in diesem Fall kein Muster entsteht, welches zu Verzerrungen führen könnte, wurden nicht immer dieselben Häuser in der sicheren oder unsicheren Zone platziert. Es wurde für jede einzelne Variante drei verschiedene Kombinationen der Unsicherheitspositionierung definiert. Alle Varianten mit den entsprechenden Buchstaben, Rotationen und Kombinationen der Unsicherheit sind in Tabelle 6 zu sehen.

Tabelle 6: Vier Varianten mit Rotation der Buchstaben der Häuser und der Zuteilung der Unsicherheit. Die Eigenschaften der Häuser pro Variante bleiben immer die gleichen, es ändert sich der Buchstabe, mit dem ein Haus definiert wird und ob es in einer unsicheren oder sicheren Zone liegt

Buchstaben-Rotation 1				Buchstaben-Rotation 2				Buchstaben-Rotation 3				Buchstaben-Rotation 4				Unsicherheit Kombination			
	Lage	Preis	Gefahr		U1	U2	U3												
Variante 1				Variante 1				Variante 1				Variante 1				Variante 1			
Haus A	gut	hoch	hoch	Haus D	gut	hoch	hoch	Haus C	gut	hoch	hoch	Haus B	gut	hoch	hoch		Ja	Nein	Nein
Haus B	schlecht	mittel	mittel	Haus A	schlecht	mittel	mittel	Haus D	schlecht	mittel	mittel	Haus C	schlecht	mittel	mittel		Nein	Ja rot	Ja gelb
Haus C	mittel	hoch	tief	Haus B	mittel	hoch	tief	Haus A	mittel	hoch	tief	Haus D	mittel	hoch	tief		Ja	Nein	Nein
Haus D	schlecht	hoch	hoch	Haus C	schlecht	hoch	hoch	Haus B	schlecht	hoch	hoch	Haus A	schlecht	hoch	hoch		Nein	Ja	Ja
Variante 2				Variante 2				Variante 2				Variante 2				Variante 2			
Haus A	gut	tief	hoch	Haus D	gut	tief	hoch	Haus C	gut	tief	hoch	Haus B	gut	tief	hoch		Nein	Nein	Ja
Haus B	gut	hoch	tief	Haus A	gut	hoch	tief	Haus D	gut	hoch	tief	Haus C	gut	hoch	tief		Ja	Ja	Nein
Haus C	mittel	mittel	mittel	Haus B	mittel	mittel	mittel	Haus A	mittel	mittel	mittel	Haus D	mittel	mittel	mittel		Ja rot	Ja gelb	Nein
Haus D	schlecht	tief	mittel	Haus C	schlecht	tief	mittel	Haus B	schlecht	tief	mittel	Haus A	schlecht	tief	mittel		Nein	Nein	Ja rot
Variante 3				Variante 3				Variante 3				Variante 3				Variante 3			
Haus A	mittel	hoch	tief	Haus D	mittel	hoch	tief	Haus C	mittel	hoch	tief	Haus B	mittel	hoch	tief		Nein	Nein	Ja
Haus B	schlecht	tief	mittel	Haus A	schlecht	tief	mittel	Haus D	schlecht	tief	mittel	Haus C	schlecht	tief	mittel		Nein	Nein	Ja gelb
Haus C	gut	hoch	mittel	Haus B	gut	hoch	mittel	Haus A	gut	hoch	mittel	Haus D	gut	hoch	mittel		Ja gelb	Ja rot	Nein
Haus D	mittel	tief	hoch	Haus C	mittel	tief	hoch	Haus B	mittel	tief	hoch	Haus A	mittel	tief	hoch		Ja	Ja	Nein
Variante 4				Variante 4				Variante 4				Variante 4				Variante 4			
Haus A	schlecht	tief	hoch	Haus D	schlecht	tief	hoch	Haus C	schlecht	tief	hoch	Haus B	schlecht	tief	hoch		Ja	Ja	Nein
Haus B	schlecht	hoch	tief	Haus A	schlecht	hoch	tief	Haus D	schlecht	hoch	tief	Haus C	schlecht	hoch	tief		Ja	Ja	Nein
Haus C	gut	mittel	hoch	Haus B	gut	mittel	hoch	Haus A	gut	mittel	hoch	Haus D	gut	mittel	hoch		Nein	Nein	Ja
Haus D	mittel	hoch	mittel	Haus C	mittel	hoch	mittel	Haus B	mittel	hoch	mittel	Haus A	mittel	hoch	mittel		Ja gelb	Ja rot	Nein

Tabelle 6 wird folgendermassen gelesen: In den Farben grün, hellblau, gelb und orange sind die vier Varianten dargestellt. Zwischen den vier Spalten der Buchstaben-Rotation ändert sich die Reihenfolge der Buchstaben, die den Häusern zugewiesen sind. Die Eigenschaften der Häuser pro Variante bleiben die gleichen. In der letzten Spalte «Unsicherheit Kombination» sind drei mögliche Kombinationen der Unsicherheit angegeben. Diese Kombination gibt an, ob das Haus auf der Zeile in einer unsicheren («Ja») oder einer sicheren («Nein») Position liegt. Jeder Karte wurde eine Buchstaben-Rotation, eine der vier Varianten und eine dazugehörige Unsicherheit Kombination zugewiesen. Da jede Serie 16 Karten enthält und die Kombination aus Varianten und Buchstaben-Rotation genau 16 ergibt, sahen die Teilnehmenden nur einmal während dem ganzen Experiment je eine mögliche Kombination.

Für die Zuweisung der Buchstaben-Rotation, der Variante und der Unsicherheit Kombination einer Karte wurde folgendermassen vorgegangen: Pro Serie wurde zufällig¹¹ eine Variante jeder Geometrie zugeteilt. Innerhalb einer Serie gibt es vier Karten mit der gleichen Geometrie. Die Visualisierungsart unterscheidet sich aber bei allen vier Karten. Beispiel: Bei der ersten Serie gehören alle vier Karten mit einer horizontalen Geometrie der Variante 3 an. Da nun die Variante dieser Karten bekannt ist, wurde für jede der vier Karten zufällig eine unterschiedliche Rotation der Buchstaben zugewiesen. Der Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit und mit horizontaler Geometrie wurde die Buchstaben-Rotation 4 zugewiesen, der Karte mit Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit und horizontaler Geometrie wurde die Buchstaben-Rotation 3 zugewiesen, usw.

Anschliessend wurde für die Karten mit Visualisierung der Unsicherheit noch festgelegt, welche der vier Häuser in einer sicheren oder in einer unsicheren Gefahrenzone liegen. Jeder Karte innerhalb einer Serie mit der gleichen Geometrie wurde eine Unsicherheit Kombination zugewiesen. Die Zuteilung erfolgte zufällig. Beispiel: Alle Karten der Serie 1 mit Visualisierung der Unsicherheit und einer horizontalen Geometrie wurde die Unsicherheit Kombination 1 zugewiesen.

Die vier Häuser wurden immer an verschiedenen Positionen in der Karte eingezeichnet. Somit wurde vermieden, dass Haus A immer unten links liegt oder dass alle Häuser mit einem hohen Preis oben rechts angesiedelt sind. Die Teilnehmenden mussten sich somit bei jeder Karte neu orientieren.

Das Ziel all dieser Massnahmen war es zu verhindern, dass die Testperson ein Muster in den Karten erkennt. Falls ein Muster vorhanden gewesen wäre, hätten die Teilnehmenden ihre Entscheidung auf dieses Muster basieren können.

Abbildung 33 soll nochmals den kompletten Ablauf der Kartenerstellung zusammenfassen und verdeutlichen.

¹¹ <http://www.random.org>: Webseite für die Generierung von zufälligen Zahlen

Ablauf der Kartenerstellung

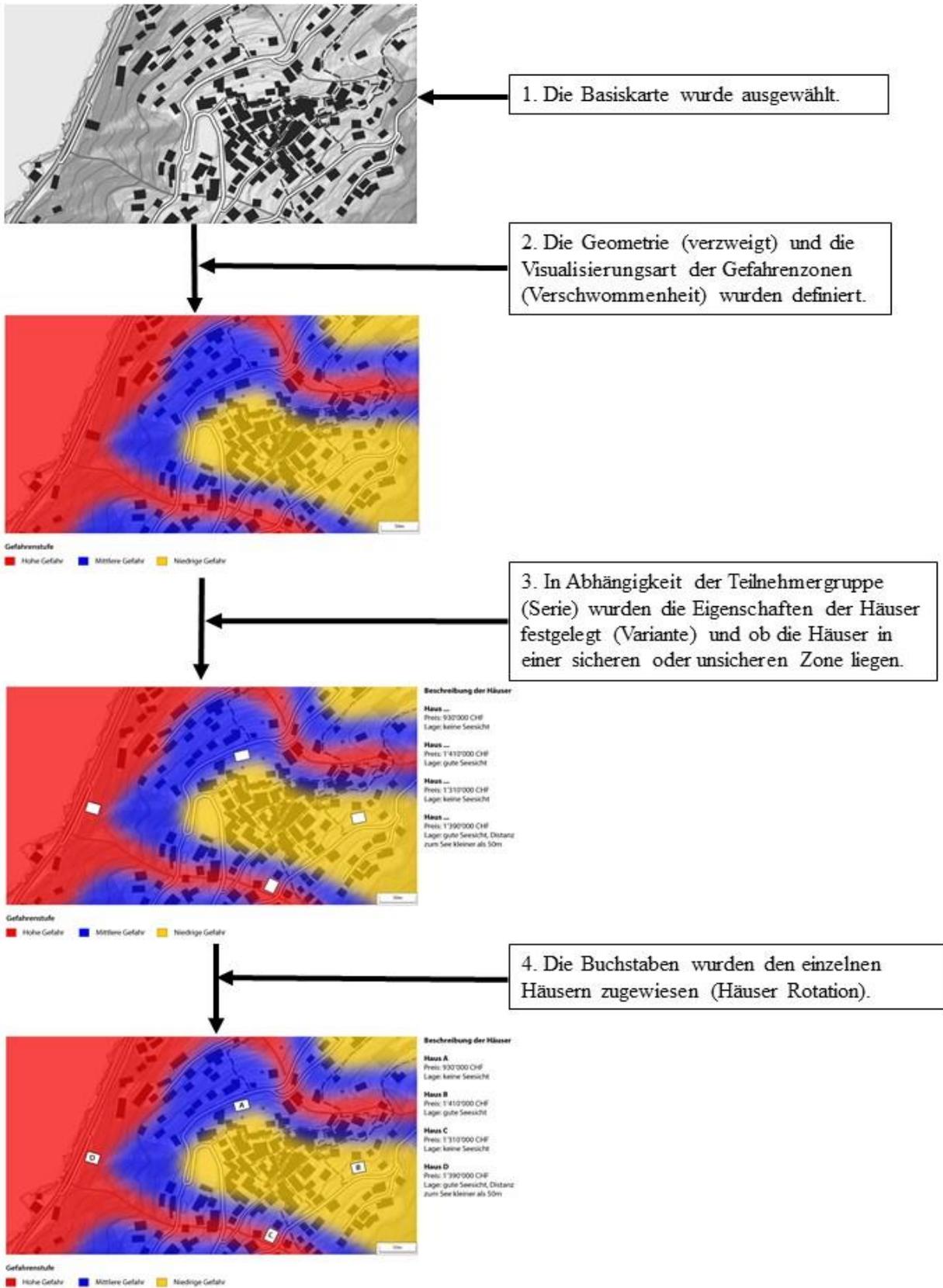


Abbildung 33: Ablauf der Kartenerstellung

Eye Tracker und Bildschirm

Um den Prozess der Entscheidungsfindung besser zu verstehen, wurde in dieser Studie ein Eye Tracker eingesetzt. Der Eye Tracker besteht aus Sensoren, welche die Augenbewegungen aufnehmen können. Es kann damit gemessen werden, wo und wie lange eine Person hingeschaut hat. Die Augenbewegungen wurden während dem ganzen Hauptexperiment gemessen. Dies sollte helfen die Strategie, wie die Teilnehmenden die Karte gelesen haben besser zu verstehen (Brus et al., 2012) und somit möglicherweise Hinweise zum Prozess der Entscheidungsfindung geben (Glaholt & Reingold, 2011).

Der eingesetzte Eye Tracker befindet sich im Labor des geographischen Instituts. Es handelt sich hierbei um einen Tobii¹² XT300 Eye Tracker¹³. Das Instrument hat eine Aufnahmegeschwindigkeit von 300Hz und eine Genauigkeit von 0,4°¹³. Um die aufgenommenen Daten des Eye Trackers zu analysieren, wird eine eigene Software benutzt: «Tobii Studio». Der Bildschirm, mit welchem der Eye Tracker verbunden ist, ist ein Estecom Bildschirm, 23 Zoll. Die maximale Auflösung liegt bei 1920 x 1080¹³. Da die Daten, welche mit den Eye Tracker aufgenommen werden schnell sehr gross werden, ist es nicht ratsam eine so hohe Auflösung des Bildschirms zu wählen. Dies könnte zu Verlangsamungen bei der Analyse der Daten führen und sogar zu Problemen mit dem Speicherplatz¹⁴. Aus diesem Grund wurde für diese Arbeit eine Auflösung von 1280 x 800 gewählt.

3.5.3. Ablauf des Hauptexperiments

Nach Abschluss der Vortests konnten sich die Teilnehmenden bei der Studienleiterin melden. Die Teilnehmenden wurden daraufhin gebeten den Platz zu wechseln. Wie eben erwähnt wurde das Hauptexperiment an einem speziellen Bildschirm mit verbundenem Eye Tracker durchgeführt. Das Hauptexperiment wurde online mithilfe der Webseite Online Umfragen¹ durchgeführt. Den Probanden wurde kurz erklärt wie der Eye Tracker funktioniert und wo sich die Sensoren befinden. Nachdem sich die Probanden positioniert hatten, wurde die Kalibrierung des Eye Trackers durchgeführt. Sobald die Kalibrierung optimal war, konnte das eigentliche Experiment beginnen. Wie bei den Vortests wurde den Teilnehmenden ihre Aufgabe schrittweise erklärt.

Zuerst wurde das Szenario des Experiments vorgestellt (für das komplette Szenario siehe Anhang D). Die Testperson musste sich vorstellen, dass sie beim Lotto mitgemacht hat und dass sie eine undefinierte Summe Geld gewonnen hatte. Mit diesem Geld sollte sie sich den grossen Wunsch von einem eigenen Haus erfüllen. Um die Entscheidung etwas zu erleichtern, wurden die Häuser, die für einen Kauf in Frage kommen, auf verschiedenen Gefahrenkarten dargestellt. Der Testperson wurde in der Beschreibung des Szenarios kurz erklärt, was eine Gefahrenkarte ist und was die verschiedenen Zonen bedeuten. Es wurde nur nebenbei erwähnt, dass es sich dabei um Modelle handelt, mit denen die Ausdehnung einer Naturkatastrophe berechnet wird und deshalb auch die Vorhersagen und die Karten gewisse Unsicherheiten

¹² <http://www.tobii.com/>, letzter Zugriff: 4.08.2016

¹³ <http://www.geo.uzh.ch/de/units/giva/services/eye-movement-lab/>, letzter Zugriff: 4.08.2016

¹⁴ Mündliche Information von Dr. Arzu Çöltekin, Verantwortliche für das «Eye Movement Lab», 2.05.2016

beinhalten. Es wurde aber nicht erwähnt, dass die Grenzen unsicher sind. Somit hat man dem Teilnehmenden einen versteckten Hinweis für die Interpretation der Karte gegeben.

Weiter wurde den Probanden erklärt, dass vier Häuser auf der Karte zur Auswahl stehen. Für diese Häuser ist nicht nur die Position auf der Karte angegeben, sondern auch eine kurze Beschreibung der Lage und der Kaufpreis. Die Testperson wurde gebeten, anhand der drei Aspekte Gefahr, Lage und Preis ein Haus auszuwählen, welches sie gerne kaufen möchten.

Nach der Vorstellung des Szenarios sahen die Teilnehmenden eine Beispielgefahrenkarte, welche für alle Serien die gleiche war. Das Beispiel enthält eine Karte ohne Unsicherheit. Anhand dieser Karte wurde erklärt, wo sich die Beschreibung der Lage und die Legende befindet. Das Ziel dieses Beispiels war, dass alle Testpersonen mit dem gleichen Anfangswissen in die Aufgabe starten können. Somit sollte der Lerneffekt, der von Martin (2008) als Nachteil bei «within subjects» Studien beschrieben wird, weiter vermindert werden.

Sobald die Teilnehmenden die Aufgabe verstanden und keine Fragen mehr hatten, konnten sie mit dem Hauptexperiment beginnen. Die Teilnehmenden hatten kein Zeitlimit beim Lösen der Aufgabe. Ausserdem konnten sie noch Fragen stellen, allerdings nicht bezüglich der Bedeutung der Visualisierungen. Den Testpersonen war es nicht gestattet zurück zu blättern, um eine getroffene Entscheidung zu ändern. Sobald die Teilnehmenden mit dem Hauptexperiment fertig waren, konnten sie sich bei der Studienleiterin melden.

3.6. Schlussfragen

Sobald die Teilnehmenden mit der Hauptaufgabe fertig waren, wurden sie gebeten einen Fragebogen über das Hauptexperiment auszufüllen. Dafür mussten die Testpersonen den Platz wechseln und sich an den selben Tisch setzen, wo bereits die Vortests gelöst wurden. Auch diese Fragen wurden mithilfe von online Umfragen¹ auf dem persönlichen Computer der Studienleiterin beantwortet (für die genaue Beschreibung des Gerätes, siehe Kapitel 3.4).

Das Ziel dieser Schlussfragen war es, eine Rückmeldung der Teilnehmenden über das Hauptexperiment zu erhalten und zu kontrollieren, ob alle Testpersonen die gleichen Vorkenntnisse (z.B. Erfahrungen bezüglich Hauskauf) hatten. Der komplette Fragebogen ist in Anhang I ersichtlich. Die Teilnehmenden haben jede Frage einzeln gelesen und es war ihnen nicht möglich zurück zu navigieren.

Der erste Teil der Fragen bezog sich auf die Vorgehensweise der Teilnehmenden während des Hauptexperiments. Es wurde zum Beispiel gefragt, welche der drei Aspekte Lage, Gefahr und Preis für sie am wichtigsten war. Im Anschluss daran sollten die Teilnehmenden angeben, ob sie neben den drei genannten Aspekten auch weitere Faktoren wie z.B. Strassen bei ihrer Entscheidung berücksichtigt haben. Die Testpersonen mussten ausserdem auf einer Skala von 1 = sehr einfach bis 5 = sehr schwierig angeben, wie schwierig sie das Hauptexperiment gefunden haben.

Um das Vorgehen der Teilnehmenden besser zu verstehen, wurden sie gebeten, die von ihnen angewendete Strategie bei der Entscheidung zu beschreiben. In diesem Zusammenhang wurden sie auch

gefragt, wie sie die verschiedenen Darstellungen der Grenzen interpretiert haben. Das Ziel dieser Frage war es zu verstehen, ob die Darstellungen intuitiv für die Visualisierung von Unsicherheit sind. Im Anschluss daran wurden die Testpersonen gefragt, welche der gesehenen Darstellungen sie am ehesten mit Unsicherheit in Verbindung bringen würden.

Die letzten Fragen wurden gestellt um zu kontrollieren, ob alle Testpersonen etwa die gleichen Vorkenntnisse bezüglich Hauskauf hatten. Als erstes wurden die Teilnehmende gefragt, ob sie schon einmal ein Haus gekauft haben oder ob und wie sie schon einmal näher in einen Hauskauf involviert waren. Falls dies der Fall war, waren die Teilnehmenden bei ihrer Entscheidung bevorteilt. Des Weiteren mussten die Probanden angeben, ob sie eine der gezeigten Ortschaften erkannt hatten. Falls jemand eine Ortschaft schon kannte, konnte die Entscheidung von diesem lokalen Vorwissen beeinflusst werden (Deitrick, 2007).

Sobald die Teilnehmenden mit den Schlussfragen fertig waren, konnten sie sich bei der Studienleiterin melden. Die Studie war somit beendet.

4. Resultate

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Studie präsentiert. Zuerst wird auf die Resultate des Persönlichkeitsfragebogens und der Vortests eingegangen. In einem zweiten Teil werden die Resultate des Hauptexperiments und der Schlussfragen erläutert. Alle statistischen Analysen wurden mit SPSS 21¹⁵ durchgeführt. Für die Einstellungen der Testparameter in SPSS und die Interpretation der Resultate wurde das Buch «Discovering Statistics using SPSS» von Field (2009) zur Hilfe genommen.

4.1. Vortests

Zuerst werden die Resultate des Persönlichkeitsfragebogens und der zwei Vortests vorgestellt. Als Vortests wurden Fragebogen zur Risikoeinstellung der Teilnehmenden (Holt & Laury, 2002) und zur räumlichen Strategie (Münzer & Hölscher, 2011) verwendet.

4.1.1. Persönlichkeitsfragebogen

An der Studie haben 37 Personen teilgenommen. Davon waren 16 Frauen und 21 Männer. Im Mittel waren die Teilnehmenden 24.7 Jahre alt (Spannweite: 22-32). Bis auf eine Teilnehmerin absolvieren alle Testpersonen gegenwärtig ein Studium im Haupt- oder Nebenfach am Geographischen Institut der Universität Zürich (Bachelor-, Master- sowie Doktorstufe). Diese homogene Gruppe von Teilnehmenden garantiert, dass alle über die gleiche Ausbildung und somit auch über die gleichen Hintergrundinformationen verfügen (siehe Kapitel 3.2 oder auch im Forschungskontext Kapitel 2.6.4). Der gemeinsame Hintergrund ist in den Resultaten bei der Frage zur Erfahrung in verschiedenen Sektoren ersichtlich.

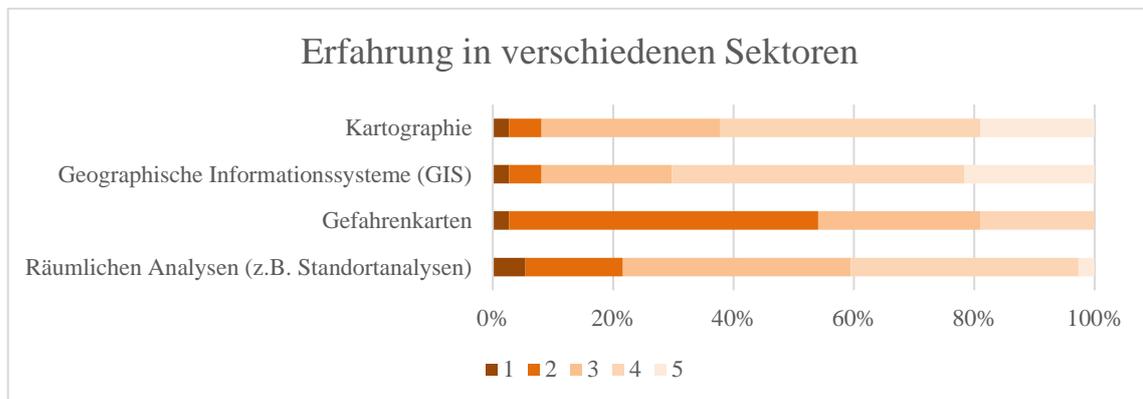


Abbildung 34: Resultate der Frage bezüglich der Erfahrung in verschiedenen Sektoren. 1 steht für keine Erfahrung, 5 = für täglicher Gebrauch / professionell

Es zeigte sich, dass sich fast alle Teilnehmenden oft mit Kartographie, Geographischen Informationssysteme und räumlichen Analysen befassen, einige von ihnen sind täglich oder in einer professionellen Umgebung mit diesen wissenschaftlichen Bereichen konfrontiert. Spannend für diese

¹⁵ IBM (2016): <http://www.ibm.com/analytics/us/en/technology/spss/>, letzter Zugriff: 21.07.2016

Arbeit ist die Erkenntnis, dass die meisten Teilnehmenden nur wenig, oder gar keine Erfahrung mit Gefahrenkarten haben.

4.1.2. Test zur Risikoeinstellung

Wie schon im Kapitel 3.4.2 erklärt, mussten die Teilnehmenden sich beim Test zur Risikoeinstellung nach Holt & Laury (2002) entscheiden, ob sie lieber Lotterie A oder Lotterie B spielen wollen. Um die Resultate auszuwerten, werden die Teilnehmenden in neun Risikopräferenzklassen aufgeteilt. Die Klassifikation erfolgt anhand der Anzahl ausgewählter Lotterien A pro Teilnehmende (Holt & Laury, 2002). Die Lotterie A ist die sicherere der beiden Varianten. Wenn also ein Teilnehmender häufiger Lotterie A gewählt hat, deutet dies darauf hin, dass sie oder er eher risikoscheu ist. Die genaue Klassifikation nach Holt & Laury (2002) ist in Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Einteilung der Risikopräferenzklassen, eigene Adaptation nach Holt & Laury (2002)

Häufigkeit Lotterie A gewählt	Risikopräferenzklassen
0-1	extrem risikofreudig
2	sehr risikofreudig
3	risikofreudig
4	risikoneutral
5	leicht risikoscheu
6	risikoscheu
7	sehr risikoscheu
8	extrem risikoscheu
9-10	bleib im Bett (stay in bed)

Abbildung 35 stellt die Einteilung der 37 Teilnehmende der Studie in die neun Risikoausprägungen dar.

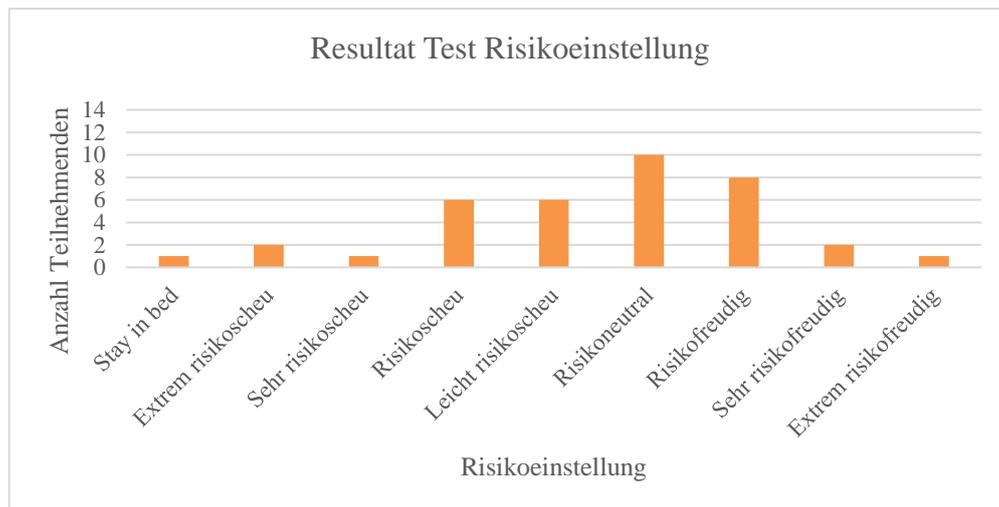


Abbildung 35: Anzahl der Teilnehmenden für jede Klasse der Risikoeinstellung

16 Teilnehmende wurden in risikoscheue Klassen eingeteilt. Diese Personen sind entweder «leicht risikoscheu», «risikoscheu», «sehr risikoscheu», «extrem risikoscheu» oder «bleib im Bett». Dies bedeutet, dass sie öfters Lotterie A, also die Variante mit einem geringeren Risiko, gewählt haben. Weiter weisen zehn Teilnehmenden ein risikoneutrales Verhalten auf. Sie bevorzugten also immer die Lotterie mit dem

höheren Erwartungswert. Dagegen wurden elf Teilnehmenden in eine der risikofreudigen Klassen eingeteilt. Diese Teilnehmenden haben bei ihrer Entscheidung etwas mehr riskiert. Es ist offensichtlich, dass die Mehrheit der Teilnehmenden über eine eher risikoscheue Einstellung verfügen.

4.1.3. Fragebogen zur räumlichen Strategie

Für die Auswertung der Resultate wurden ein globaler Mittelwert berechnet, der die allgemeine Selbsteinschätzung über Orientierungs- und Navigationsfähigkeit angibt. Dieser global Mittelwert ist in Abbildung 36 ersichtlich.

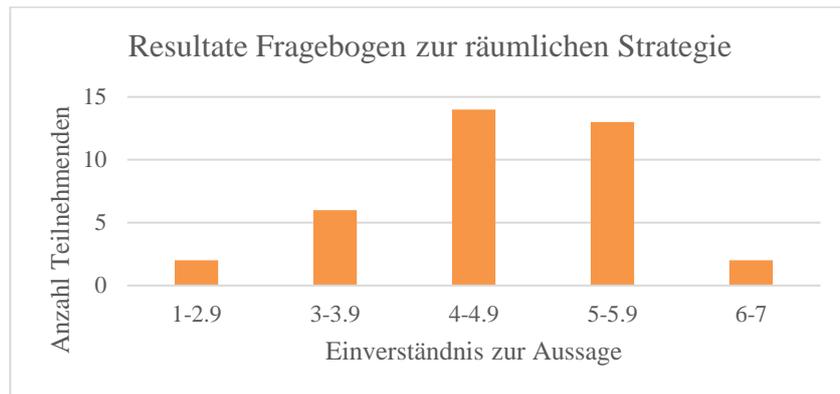


Abbildung 36: Anzahl Teilnehmenden pro Punktzahlklasse zur räumlichen Strategie

Je höher die Zustimmung zu den Aussagen, desto höher ist die selbsteingeschätzte Orientierungs- und Navigationsfähigkeit der einzelnen Teilnehmenden. Wenn eine Testperson im Durchschnitt ein Einverständnis zwischen 1 und 2.9 angegeben hat, bedeutet dies, dass die Selbsteinschätzung relativ tief ist. Selbsteinschätzungen, die in der Kategorie zwischen 6 und 7 liegen, sind sehr hoch. Die Testpersonen scheinen generell hohe Orientierungs- und Navigationsfähigkeiten zu besitzen. Der allgemeine Mittelwert über alle Teilnehmenden liegt bei 4.67 (Standardfehler: 0.18). Auch wenn die Spannweite relativ breit ist (1.84-6.89), kann generell gesagt werden, dass die Testpersonen ihre Fähigkeiten von mittel bis gut einschätzten.

4.2. Hauptexperiment

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob mit der Visualisierung von Unsicherheit von räumlichen Daten auf Karten andere Entscheidungen getroffen werden als mithilfe von Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit. Zuerst wird auf die Resultate des ersten Indikators der Entscheidungsleistung, das Ergebnis der Entscheidung, eingegangen. Diesbezüglich werden auch Unterschiede zwischen Gruppen mit verschiedener Risikoeinstellung und verschiedenen räumlichen Fähigkeiten analysiert. In einem zweiten Teil werden die Resultate des zweiten Indikators der Entscheidungsleistung vorgestellt: Die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung. Zum Schluss wird eine logistische Regression berechnet. Diese soll als Erklärungsmodell für den Entscheidungsprozess dienen.

4.2.1. Vorbereitung der Daten

Bei dieser Analyse ist es wichtig zu beachten, dass es keine richtigen oder falschen Antworten beim Hauskauf gab. Die Teilnehmenden waren komplett frei bei ihrer Auswahl und konnten dasjenige Haus auswählen, welches ihnen am besten passte. Der Fokus dieser Arbeit liegt darauf zu untersuchen, ob die Teilnehmenden andere Entscheidungen getroffen haben zwischen den verschiedenen Darstellungen der Gefahrenzonen: Ohne Unsicherheit, mit Farbhelligkeit, mit Verschwommenheit oder mit Textur.

Damit man die Antworten der Teilnehmenden vergleichen kann, wurden die Häuser klassifiziert. Hierbei wurden die Häuser in sechs Haustypen unterteilt, welche in Tabelle 8 ersichtlich sind. Die Begründung der Klassifikation wird im Folgenden erklärt.

Tabelle 8: Klassifikation der Häuser für die Auswertung der Resultate

Haustyp	Gefahr	Lage	Preis
1	gelb/blau	schlecht	tief/mittel/hoch
2	gelb/blau	mittel/gut	tief/mittel
3	gelb/blau	mittel/gut	hoch
4	rot	schlecht	tief/mittel/hoch
5	rot	mittel/gut	tief/mittel
6	rot	mittel/gut	hoch

Klassierung der Gefahr

Die Gefahr wurde in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe «gelb/blau» enthält alle Häuser die in der gelben oder der blauen Gefahrenzone liegen. Diese zwei Gefahrenzonen wurden zusammengefasst, weil der Unterschied zwischen diesen Zonen von den Probanden als geringer wahrgenommen wurde als zwischen der blauen und der roten Zone. Dies wurde von einigen Probanden in den Schlussfragen so angegeben. Deshalb wurden alle Häuser in der roten Gefahrenzone der zweiten Gruppe «rot» zugeteilt.

Klassierung der Lage

Auch die Lage wurde in zwei Gruppen eingeteilt: «schlecht» und «mittel/gut». Wie in Kapitel 3.5.2 schon erwähnt, wurden die «schlecht» gelegenen Häuser mit einem preissenkenden Faktor beschrieben. Die Beschreibung dieser Häuser ist also negativ konnotiert. Im Gegensatz dazu werden Häuser mit einer «mittleren» oder «guten» Lage mit einem oder zwei preistreibenden Faktoren beschrieben. Die Beschreibung dieser Häuser ist positiv konnotiert. Aus diesem Grund wurden die Häuser mit positiver Konnotation zu einer Gruppe «mittel/gut» zusammengefasst. Die Häuser mit einer schlechten Lage, d.h. einer negativen Konnotation, bilden eine separate Gruppe «schlecht».

Klassierung des Preises

Die Aufteilung der Preisgruppen ist von der Gruppierung der Lage abhängig. Wie in Kapitel 4.3.1 später beschrieben wird, wurde die Lage als wichtigster Aspekt für die Entscheidung wahrgenommen. Aufgrund dieses Resultats und einer ersten Analyse meiner Daten vermute ich, dass der Preis bei Häusern mit «schlechter» Lage keine entscheidende Rolle gespielt hat. Es wird davon ausgegangen, dass diese Häuser weniger beliebt sind, unabhängig davon wie teuer sie sind. Deshalb wurde bei Häusern mit «schlechter» Lage der Preis nicht aufgeteilt und der Preisgruppe «tief/mittel/hoch» zugeteilt. Des Weiteren vermute ich, dass bei Häusern an einer «mittleren» bis «guten» Lage der Preis bei der Auswahl wichtiger war. Aufgrund dieser Annahme wurden für Häuser an einer «mittleren» bis «guten» Lage zwei Preisgruppen gebildet: «Tief/mittel» und «hoch».

4.2.2. Auswertung der Klassifikation

Nach Erstellung dieser Klassifikation in sechs Haustypen wurde in einem weiteren Schritt jedes vorgestellte Haus einer dieser sechs Haustypen zugeteilt. Somit war es möglich herauszufinden, welcher Haustyp die Teilnehmenden in den einzelnen Karten gewählt haben. Nach dieser Zuteilung wurden die Daten zu den gewählten Häusern auf zwei Arten weiterverarbeitet. Da es bei dieser Studie keine richtige oder falsche Antwort gab und man deshalb nicht die «Leistung» der Teilnehmenden vergleichen kann, waren diese beiden Auswertungsmethoden notwendig, um Unterschiede in den Resultaten zu erkennen. Des Weiteren sind die Resultate bezüglich der Hauswahl kategoriell. Dies erschwert die statistische Analyse. Durch die folgenden zwei Transformationen werden die kategoriellen Daten in numerischen Daten umgewandelt. Als erste Auswertungsvariante wurde eine Punktzahl pro Visualisierungsart und pro Teilnehmende berechnet. Als zweite Variante wurden die Häufigkeiten der gewählten Haustypen pro Visualisierungsart und pro Teilnehmende zusammengezählt. Diese Verfahren werden im Folgenden einzeln erklärt.

Variante 1: Punktzahl

Bei der ersten Auswertungsmethode wurde jedem Haustyp eine Punktzahl zugeteilt. Dabei entspricht die Punktzahl der Haustypnummer. Dies bedeutet, dass dem Haustyp 1 die Punktzahl 1 zugeteilt wurde,

dem Haustyp 2 die Punktzahl 2, usw. Pro Teilnehmende und pro Visualisierung wurde die Häufigkeit, mit der ein gewisser Haustyp gewählt wurde, zusammengezählt. Diese Häufigkeit wurde mit der entsprechenden Punktzahl des Haustyps multipliziert. Die multiplizierten Häufigkeiten aller Haustypen wurden pro Teilnehmende und pro Darstellung addiert und durch vier geteilt (Anzahl der Entscheidungen pro Darstellung). Somit erhält man einen Wert, der aussagt, welcher Haustyp bei einer gewissen Darstellung im Mittel von einer Testperson ausgewählt wurde. Das folgende Beispiel soll dazu beitragen, dieses Verfahren besser zu verstehen.

Tabelle 9: Beispiel Berechnung Punktzahl Teilnehmer P09 (HHT = Häufigkeit Haustyp; PHT = Punktzahl Haustyp)

ID	Häufigkeiten Haustypen Darstellung ohne Unsicherheit						Punktzahl Haustypen Darstellung ohne Unsicherheit							
	HHT1	HHT2	HHT3	HHT4	HHT5	HHT6	PHT1	PHT2	PHT3	PHT4	PHT5	PHT6	Summe	Durchschnitt
P09	1	1	1	1	0	0	1	2	3	4	0	0	10	2,5

Tabelle 9 zeigt die gewählten Haustypen für den Teilnehmer P09 in allen vier Karten ohne Darstellung der Unsicherheit. In der linken Seite der Tabelle erkennt man, wie häufig P09 einen Haustyp tatsächlich gewählt hat. Dieser Teilnehmer hat in den vier Karten ohne Unsicherheit einmal Haustyp 1, einmal Haustyp 2, einmal Haustyp 3 und einmal Haustyp 4 gewählt. Diese Häufigkeiten wurden in der rechten Seite der Tabelle mit der zugeteilten Punktzahl pro Haustyp multipliziert. Für Haustyp 1 wurde die Häufigkeit mit 1 multipliziert, für Haustyp 2 mit der Punktzahl 2, usw. Mit der Summe dieser Punktzahlen kann man nun den Durchschnitt berechnen. Der Teilnehmende P09 hat im Durchschnitt, bei den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit, Haustyp 2.5 gewählt.

Das Ziel dieser Auswertungsmethode ist einen generellen Überblick über die unterschiedlichen Entscheidungen zwischen den Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit zu geben. Diese Auswertungsmethode verbirgt aber gewisse Nachteile. Wenn die Verteilung der gewählten Haustypen nicht normalverteilt ist, dann ist der berechnete Durchschnitt der Punkte nicht repräsentativ für die Entscheidungen der Testperson. Um ein Beispiel zu geben: Wählt eine Testperson zweimal Haustyp 1 und zweimal Haustyp 6, ergibt dies eine durchschnittliche Punktzahl von 3.5. Dies besagt, dass der Teilnehmende, im Durchschnitt Haustyp 3.5 gewählt hat. Da der Proband nie Haustyp 3 oder 4 gewählt hat, könnte dies zu Verzerrungen bei der Interpretation führen. Die Berechnung der Punktzahl ist also nicht in jedem Fall optimal aber es ist eine Möglichkeit um die kategoriellen Daten in numerischen Daten umzuwandeln. Da die Auswertungsmethode 1 gewisse Nachteile verbirgt wurde auch die Auswertungsmethode 2 mit der normalisierten Häufigkeit berechnet.

Variante 2: Normalisierte Häufigkeit

Die Auswertungsvariante 2 hat zum Ziel, eine genauere Analyse der Entscheidungen der Teilnehmenden zu erlauben (siehe auch Kapitel 0). Für diese Auswertungsmethode der Klassifikation wurde die Häufigkeit der einzelnen Haustypen pro Teilnehmende und Darstellungsart zusammengezählt.

Dieses Verfahren entspricht dem linken Teil der Tabelle 9. Hierbei galt es zu beachten, dass die einzelnen Haustypen in den Karten nicht gleich oft vorkommen. Zum Beispiel stand Haustyp 3 bei den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit fünfmal zur Auswahl, während im Gegensatz dazu Haustyp 2 nur zweimal vorkam. Demnach könnte es sein, dass Haustypen, die öfters zur Auswahl standen, auch öfters gewählt wurden. Dies könnte vor allem bei Teilnehmenden problematisch sein, die ihre Entscheidung zufällig getroffen haben. In diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit höher, zufällig einen Haustyp zu wählen, welcher häufiger vorkommt. Es ist also von grosser Wichtigkeit, diesen Aspekt bei der Analyse zu berücksichtigen und zu kontrollieren.

Aus diesem Grund wurde eine Normalisierung der Häufigkeiten vorgenommen. Somit sind die Häufigkeiten der gewählten Haustypen auch vergleichbar. Um diese Vergleichbarkeit zu erreichen, wurde folgendes Verfahren durchgeführt: Die Häufigkeit, mit der ein Haustyp gewählt wurde, wurde dividiert durch die Anzahl, wie oft ein Haustyp zur Auswahl stand. Beispiel: Hat eine Testperson in den Karten ohne Unsicherheit den Haustyp 3, der fünfmal zur Auswahl stand, zweimal gewählt, ergibt die normalisierte Häufigkeit für Haustyp 3: $2/5 = 0.4$. Diese Zahl ist einer Prozentzahl gleichzustellen. Die Teilnehmerin hat in den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit 40% der zur Auswahl stehenden Haustypen 3 gewählt. Im Folgenden wird auf die Resultate des Hauptexperiments eingegangen.

4.2.3. Vergleich durchschnittliche Punktzahl zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit

Um herauszufinden, sich das Ergebnis der Entscheidung verändert, wurde die Wahl der Häuser zwischen den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit verglichen. Diese Resultate sollten Hinweise für die Beantwortung von Forschungsfrage 1 liefern (siehe Kapitel 0). Zu diesem Zweck wurden zuerst die Ergebnisse der Auswertungen nach Variante 1 analysiert.

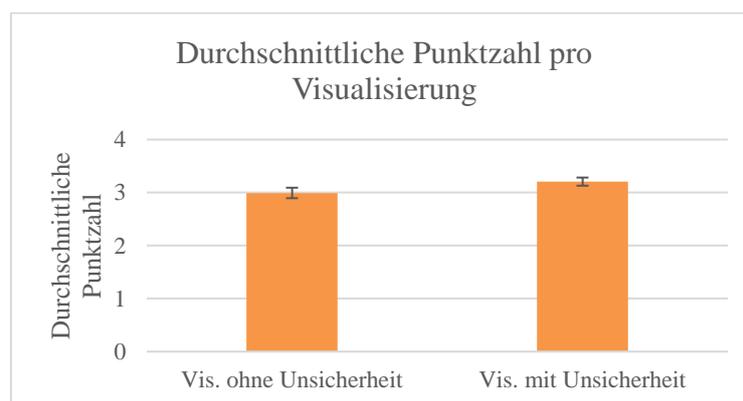


Abbildung 37: Durchschnittliche Punktzahl der Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und der Karten mit Visualisierung der Unsicherheit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die durchschnittliche Punktzahl über alle Teilnehmenden für die Karten ohne Darstellung der Unsicherheit liegt bei 2.99 (Standardfehler: 0.10). Dies bedeutet, dass im Mittel alle Teilnehmenden in den Karten ohne Unsicherheit Haustyp 2.99 gewählt haben. Die durchschnittliche Punktzahl über alle

Testpersonen bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit liegt bei 3.21 (Standardfehler: 0.08). Im Mittel haben also die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit eine höhere durchschnittliche Punktzahl erhalten. Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmenden bei Karten mit Visualisierung der Unsicherheit eher Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben (siehe Tabelle 8). Der abhängige T-Test ergab knapp keinen signifikanten Unterschied ($T = -2.010$, $df = 36$, $p = 0.052 > 0.05$).

4.2.4. Vergleich durchschnittliche Punktzahl zwischen den einzelnen Darstellungsarten separat

Der Unterschied zwischen der Punktzahl der Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und der Karten mit Visualisierung der Unsicherheit war knapp nicht signifikant. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob sich die durchschnittliche Punktzahl zwischen allen vier Darstellungen einzeln unterscheidet. Auch in diesem Fall wurden die Ergebnisse der Auswertung nach Variante 1 untersucht.

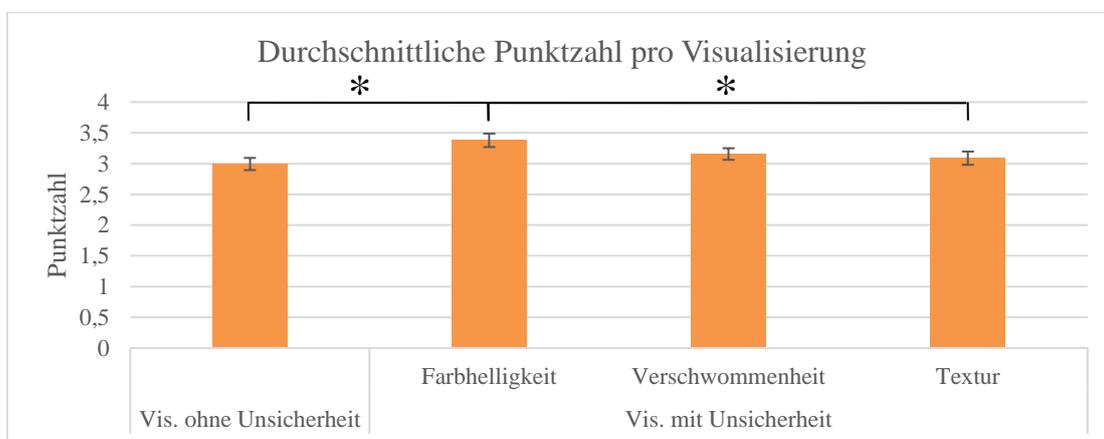


Abbildung 38: Durchschnittliche Punktzahl für die einzelnen Visualisierungen (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Aus Abbildung 38 erkennt man, dass die Visualisierung der Farbhelligkeit generell eine höhere Punktzahl erreicht hat als die anderen drei Darstellungen. Tatsächlich ist der Mittelwert der Punktzahl über alle Teilnehmenden für die Darstellung mit Farbhelligkeit 3.38 (Standardfehler: 0.11). Die restlichen Mittelwerte sind hingegen geringer: Für die Darstellung ohne Unsicherheit 2.99 (Standardfehler: 0.10), für die Darstellung mit Verschwommenheit 3.16 (Standardfehler: 0.09) und für die Karten mit Textur 3.09 (Standardfehler: 0.11). Dies würde bedeuten, dass vor allem bei den Karten mit der Darstellung der Grenzen durch Farbhelligkeit Häuser gewählt wurden, die in einer roten Gefahrenzone und an einer «mittleren» bis «guten» Lage liegen. Um den Unterschied statistisch zu analysieren wurde eine Rangvarianzanalyse nach Friedman (Field, 2009) durchgeführt, da die Punktzahl für die Darstellung mit Textur nicht normalverteilt ist. Der Test ergab aber keinen signifikanten Unterschied zwischen den vier Darstellungsarten ($\chi^2 = 6.470$, $df = 3$, $p = 0.091 > 0.05$).

Auch wenn der Unterschied zwischen allen vier Darstellungsarten zusammen nicht signifikant ist, scheint ein Post-hoc-Test trotzdem sinnvoll zu sein, um die durchschnittliche Punktzahl der Darstellung mit Farbhelligkeit mit den anderen drei Visualisierungen einzeln zu vergleichen. Die statistische Analyse ergibt, dass zwischen der durchschnittlichen Punktzahl der Darstellung mit Farbhelligkeit und der ohne

Unsicherheit ein signifikanter Unterschied vorhanden ist ($V = 0.2$, $F = 4.38$, $p = 0.016 < 0.05$). Auch der Unterschied der durchschnittlichen Punktzahl zwischen der Darstellung mit Farbhelligkeit und der Darstellung mit Textur ist signifikant ($Z = -2.105$, $p = 0.035 < 0.05$).

Im Gegensatz dazu gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Darstellung mit Farbhelligkeit und der mit Verschwommenheit ($V = 0.2$, $F = 4.38$, $p = 0.152 > 0.05$). Die Teilnehmenden haben also ähnliche Entscheidungen bei der Darstellung mit Farbhelligkeit und mit Verschwommenheit getroffen.

4.2.5. Vergleich normalisierte Häufigkeit zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit

Wie in den letzten Kapiteln aufgezeigt, gibt es gewisse Unterschiede in der Punktzahl zwischen den verschiedenen Darstellungen. Wenn man aber die Punktzahl analysiert ist es schwierig festzustellen, welcher Haustyp die Teilnehmenden tatsächlich gewählt haben, da nur eine Zahl untersucht wird. In diesem und im nächsten Kapitel wird deshalb auf die normalisierten Häufigkeiten der gewählten Haustypen einzelnen eingegangen. Normalisiert bedeutet, dass die Häufigkeit, mit der ein Haustyp gewählt wurde, an die Häufigkeit angepasst wurde, mit der ein Haustyp zur Auswahl gestanden ist.

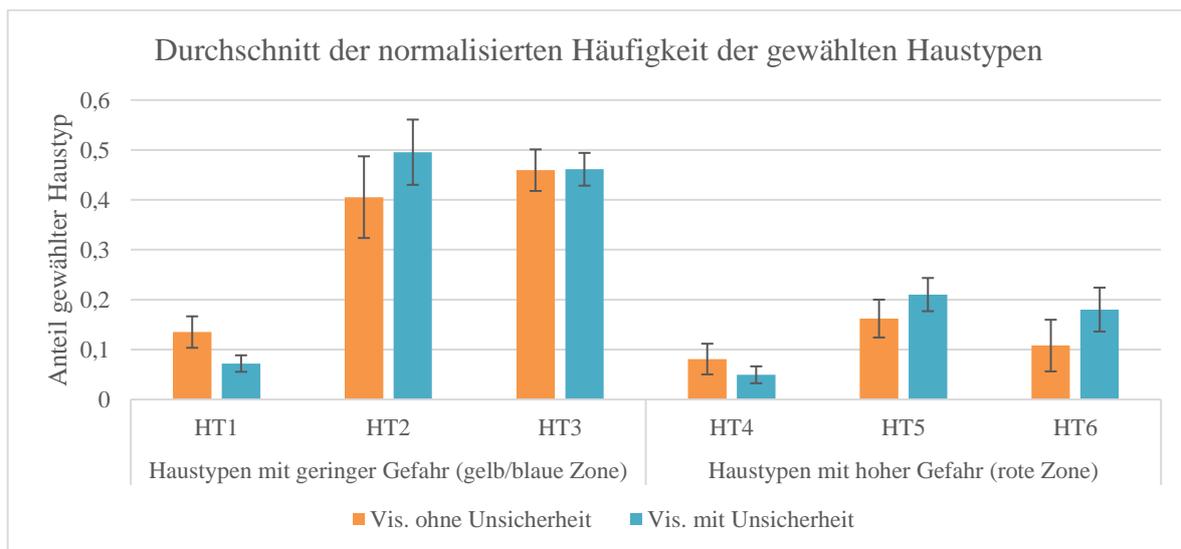


Abbildung 39: Durchschnitt der normalisierten Häufigkeiten der gewählten Haustypen. HT = Haustyp (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Aus Abbildung 39 ist erkennbar, dass die Haustypen 1 und 4 bei beiden Visualisierungen am seltensten gewählt wurden. Vor allem bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit waren diese Häuser wenig beliebt. Wie in 4.2.1 beschrieben, liegen diese Haustypen an einer «schlechten» Lage. Die Haustypen, die am häufigsten gewählt wurden sind Haustyp 2 und 3. Diese Häuser liegen in einer Zone mit geringer Gefahr und haben eine «mittel» bis «gute» Lage. Der Preis ist bei Haustyp 2 «tief/mittel», bei Haustyp 3 «hoch».

Aus diesem Resultat ergibt sich also, dass die Kombination von geringer Gefahr und «mittel/guter» Lage sehr beliebt bei den Teilnehmenden war. Haustyp 5 und 6 besitzen auch beide eine «mittel/gute» Lage. Diese Häuser wurden aber weniger oft gewählt als Haustyp 2 und 3. Wahrscheinlich, weil sie in einer Zone

mit höherer Gefahr liegen. Interessant ist, dass die Haustypen 5 und 6, bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit, etwas mehr beliebt waren als bei den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit.

Für die statistische Analyse wurden zuerst alle normalisierten Häufigkeiten pro Haustyp und Visualisierung über alle Teilnehmenden summiert. Der Vergleich der summierten Häufigkeiten pro Haustyp zwischen der Visualisierung ohne Unsicherheit und der Visualisierung mit Unsicherheit hat keinen signifikanten Unterschied ergeben ($T = -0.792$, $df = 5$, $p = 0.464 > 0.05$). In einem zweiten Schritt wurde die Verteilung der normalisierten Häufigkeit der gewählten Häuser einzeln, pro Haustyp zwischen den Karten ohne Unsicherheit und mit Unsicherheit verglichen. Diese Analyse hat bei keinem Haustyp einen signifikanten Unterschied im Mittelwert ergeben (da die Daten der Haustypen 1, 2, 4, 5 und 6 nicht normalverteilt sind, wurde ein Rangsummen-Test nach Wilcoxon durchgeführt, HT1: $Z = -1.905$, $p = 0.057 > 0.05$; HT2: $Z = -1.111$, $p = 0.266 > 0.05$; HT3: $T = -0.063$, $df = 36$, $p = 0.950 > 0.05$; HT4: $Z = -1.192$, $p = 0.233 > 0.05$; HT5: $Z = -1.790$; $p = 0.073 > 0.05$; HT6: $Z = -1.161$, $p = 0.246$).

4.2.6. Vergleich normalisierte Häufigkeit zwischen den einzelnen Darstellungsarten separat

Wie vorstehend erwähnt, ergab der Vergleich der normalisierten Häufigkeiten zwischen zusammengefassten Karten mit Visualisierung der Unsicherheit und den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit keinen signifikanten Unterschied im Mittelwert. Trotzdem lohnt es sich, die Resultate genauer zu betrachten. Deshalb wird in diesem Kapitel ein Vergleich der normalisierten Häufigkeit zwischen den einzelnen Darstellungen durchgeführt.

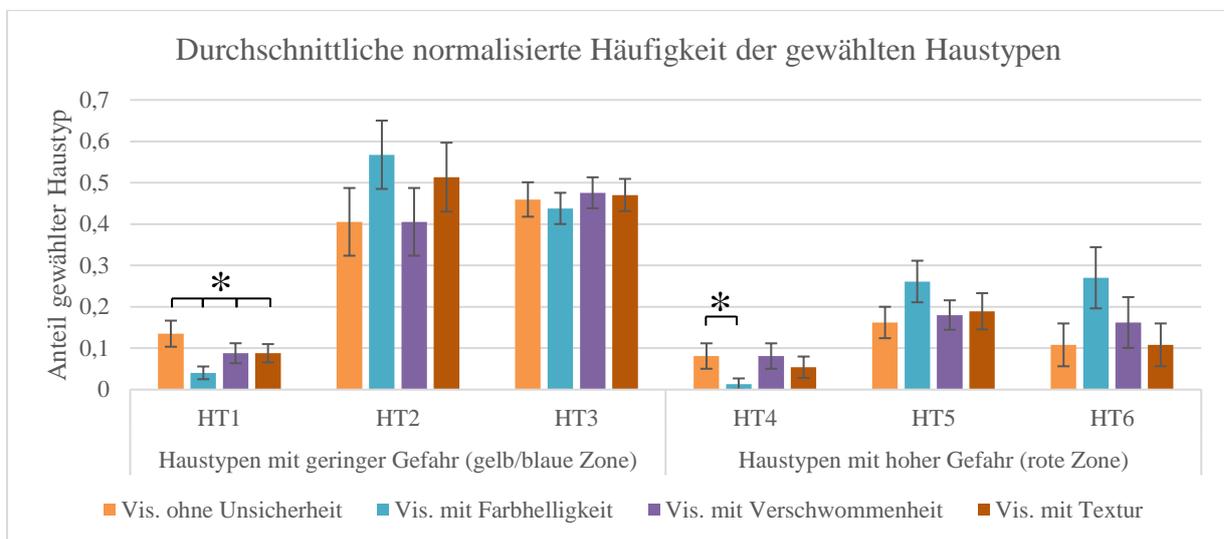


Abbildung 40: Durchschnittliche normalisierte Häufigkeit der gewählten Haustypen pro Visualisierung (HT = Haustyp, Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die Beliebtheit der Haustypen bleibt auch bei der Aufteilung der drei Darstellungen mit Unsicherheit die gleiche. Dabei ist erkennbar, dass die Entscheidungen zwischen den Darstellungen mit Unsicherheit nicht immer die gleichen sind. Bei denjenigen Karten, bei denen die Unsicherheit mit Farbhelligkeit dargestellt ist, waren die Häuser mit «schlechter» Lage (Haustyp 1 und 4) deutlich unbeliebter als bei den

restlichen Karten. Dafür scheinen die Haustypen 5 und 6, welche eine «mittel/gute» Lage besitzen, aber in der roten Gefahrenzone liegen, bei der Darstellung der Unsicherheit mit Farbhelligkeit beliebter zu sein. Bei der statistischen Analyse über alle vier Darstellungen pro Haustyp wurde nur für Haustyp 1 ein signifikanter Unterschied gefunden (HT1: $X^2 = 8.444$, $df = 3$, $p = 0.038 < 0.05$; HT2: $X^2 = 4.629$, $df = 3$, $p = 0.201 > 0.05$, HT3: $F = 0.438$, $df = 3$, $p = 0.727 > 0.05$; HT4: $X^2 = 5.743$, $df = 3$, $p = 0.125 > 0.05$; HT5: $X^2 = 4.943$, $df = 3$, $p = 0.176 > 0.05$; HT6: $X^2 = 5.760$, $df = 3$, $p = 0.124 > 0.05$). Als weiterführende Analyse wurde jede einzelne Darstellung mit Unsicherheit mit der Darstellung ohne Unsicherheit verglichen. Dabei stellt sich heraus, dass es einen signifikanten Unterschied im Mittelwert der Verteilung von Haustyp 1 ($Z = -2.523$, $p = 0.012 < 0.05$) und Haustyp 5 ($Z = -2.209$, $p = 0.027 < 0.05$) zwischen der Darstellung ohne Unsicherheit und der Darstellung mit Farbhelligkeit gibt.

4.2.7. Einfluss der Unsicherheit auf die Attraktivität der Häuser

Aus den Resultaten der letzten Kapitel scheint hervorzugehen, dass die Visualisierung der Unsicherheit die Entscheidung in einem gewissen Masse beeinflusst hat. Auch wenn nicht alle Unterscheide signifikant sind, wählen die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser, die sich in der roten Gefahrenzone befinden.

Es scheint, als ob die Visualisierung der Unsicherheit die Häuser, welche in einer roten Gefahrenzone liegen, attraktiver macht. Aus diesem Grund wurde bei allen zwölf Karten, die eine Darstellung der Unsicherheit beinhalten, gezählt, wie oft sich ein Teilnehmende für ein Haus in einer sicheren Zone entschieden hat und wie oft für ein Haus in einer unsicheren Zone. Zuerst wurde diese Analyse für alle Häuser durchgeführt. Weiter unten wurde der Vergleich für die Häuser in der roten Gefahrenzone und für die Häuser in der gelb / blauen Gefahrenzone separat durchgeführt. Die Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit wurden bei dieser Analyse nicht berücksichtigt. Die folgende Abbildung stellt dar, wie häufig die Probanden ein Haus aus einer sicheren Zone gewählt haben und wie häufig aus eine unsicheren Zone.

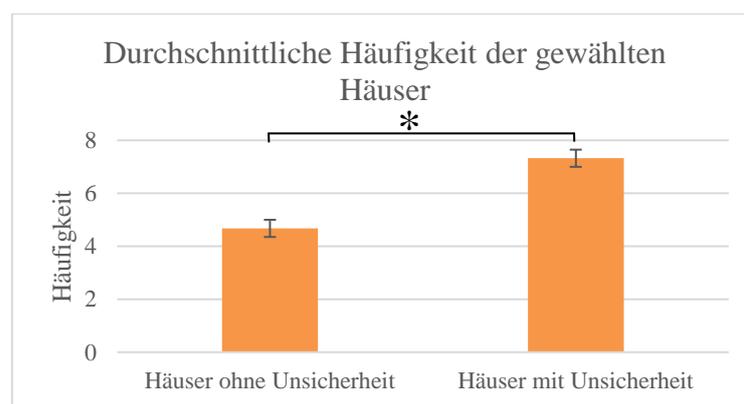


Abbildung 41: Häufigkeit über alle drei Visualisierungen der Unsicherheit mit der ein Haus in sicherer oder unsicherer Zone gewählt wurde (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Aus Abbildung 41 ist ersichtlich, dass die Teilnehmenden häufiger Häuser, welche im Unsicherheitsbereich der Gefahrenzone liegen, gewählt haben. Tatsächlich liegt die mittlere Häufigkeit für die Häuser ohne unsichere Lage bei 4.68 (Standardfehler: 0.32) und für die Häuser in unsicherer Lage bei

7.32 (Standardfehler: 0.32). Dies bedeutet, dass bei den 12 Karten, bei denen die Unsicherheit visualisiert wurde, im Durchschnitt 4.68 Häuser aus einer sicheren Zone gewählt wurden und 7.32 aus einer unsicheren Zone. Der Unterschied ist gemäss statistischer Analyse signifikant ($T = -4.083$, $df = 36$, $p = 0.000 < 0.05$).

Die Häufigkeit, mit der ein Haus aus der sicheren oder unsicheren Zone gewählt wurde, kann auf die drei Darstellungen der Unsicherheit aufgeteilt werden. Das Resultat dieser Aufteilung ist in Abbildung 42 ersichtlich.

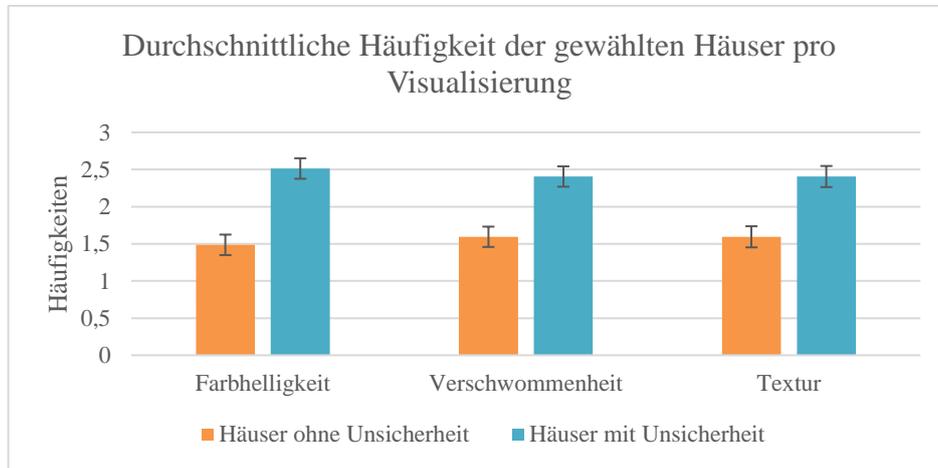


Abbildung 42: Häufigkeit der gewählten Häuser aus einer sicheren oder unsicheren Gefahrenzone separat für die drei Darstellungen der Unsicherheit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Das auftretende Muster ist das Gleiche wie in Abbildung 41: Die Teilnehmenden haben deutlich öfter Häuser gewählt, die in einer unsicheren Zone lagen. Im Vergleich zu den Karten mit Verschwommenheit und Textur haben die Teilnehmenden bei den Karten mit Farbhelligkeit Häuser in unsicherer Lage etwas öfters gewählt. Der Unterschied ist aber nicht signifikant ($X^2 = 0.538$, $df = 2$, $p = 0.764$) ebenso wenig wie der Unterschied zwischen der Häufigkeit für die Häuser ohne Unsicherheit über alle drei Darstellungen ($X^2 = 0.538$, $df = 2$, $p = 0.764$).

Wie oben schon erwähnt, kann die Unsicherheit ein Haus in der roten Zone attraktiver machen. Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Schritt die Häuser in der roten Gefahrenzone separat von denen in der blauen und der gelben Zone analysiert.

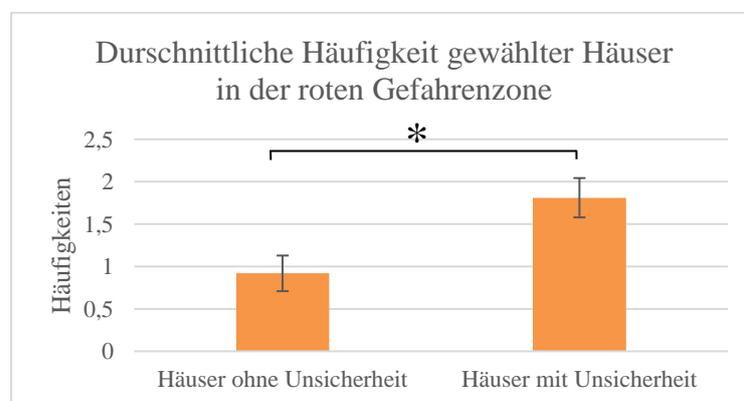


Abbildung 43: durchschnittliche Häufigkeit der gewählten Häuser, die sich in der roten Gefahrenzone befinden

Jeder Teilnehmende hatte im Verlauf des Experimentes 9 Häuser in der roten, sicheren Gefahrenzone zur Auswahl, sowie 9 Häuser in der roten, unsicheren Gefahrenzone. Aus Abbildung 43 ist deutlich ersichtlich, dass Häuser in einer roten, unsicheren Zone viel beliebter waren, als wenn sie in einer roten, sicheren Zone lagen. Dies geht auch aus den unterschiedlichen Mittelwerten hervor. Im Durchschnitt wurde ein Haus in sicherer Position mit hoher Gefahr 0.92 Male gewählt (Standardfehler: 0.21). Häuser in der unsicheren, roten Gefahrenzone wurden 1.81 (Standardfehler: 0.23) gewählt. Häuser in der roten unsicheren Zone wurden also doppelt so häufig gewählt. Der statistische Test ergab einen signifikanten Unterschied ($Z = -2.838$, $p = 0.005 < 0.05$).

Im Folgenden wurde das gleiche Verfahren für die Häuser in der blauen und gelben Gefahrenzone durchgeführt.

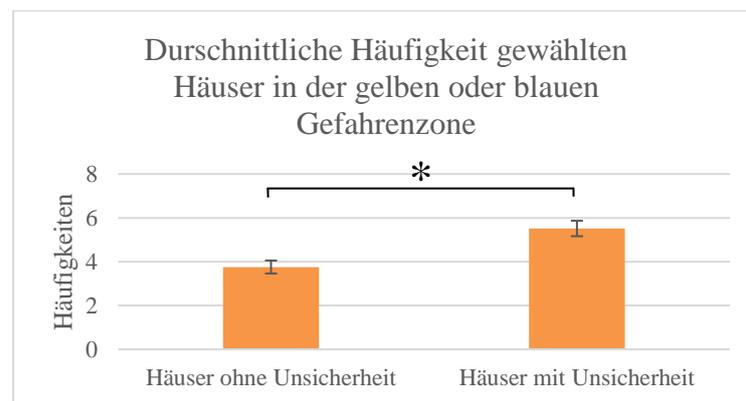


Abbildung 44: Durchschnittliche Häufigkeit der gewählten Häuser die sich in der gelben oder in der blauen Gefahrenzone befinden

Die folgende Tabelle zeigt pro Serie auf, wie oft die Teilnehmenden ein Haus in der sicheren oder unsicheren gelben oder blauen Gefahrenzone während des ganzen Hauptexperimentes zur Auswahl hatten.

Tabelle 10: Häufigkeit der zur Auswahl stehenden Häuser in der gelben oder in der blauen Gefahrenzone. Die Häufigkeiten sind nach «ohne Unsicherheit» und «mit Unsicherheit» aufgeteilt

	Ohne Unsicherheit	Mit Unsicherheit
Serie 1	15	15
Serie 2	18	12
Serie 3	12	18

Im Vergleich zu den Häusern in der roten Gefahrenzone, standen Häuser in der gelben oder blauen Gefahrenzone häufiger zur Auswahl. Dies liegt daran, dass hier zwei Klassen zusammengefasst wurden. Die Teilnehmenden haben im Durchschnitt 3.76 (Standardfehler: 0.30) Mal ein Haus in einer sicheren Zone gewählt und 5.51 (Standardfehler: 0.35) Mal ein Haus in der unsicheren Zone gewählt. Dieser Unterschied im Mittelwert ist signifikant ($T = -3.19$, $df = 36$, $p = 0.003 < 0.05$). Dies bedeutet, dass die Teilnehmenden auch bei den Häusern in der gelben oder blauen Gefahrenzone signifikant häufiger die in einer unsicheren Gefahrenzone gewählt haben.

4.2.8. Vergleich Risikoeinstellungsgruppen

Die Teilnehmenden mussten vor dem Hauptexperiment unter anderem den Test zur Risikoeinstellung nach Holt & Laury (2002) lösen. Mit diesem Test ist es möglich herauszufinden, ob jemand bereit ist ein Risiko einzugehen oder ob die Person lieber die sichere Variante wählt. Die Risikoeinstellung ist für diese Studie sehr wichtig. Bei einer risikosuchenden Testperson ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass er oder sie ein Haus in der höchsten Gefahrenzone wählt. Eine risikoscheue Testperson vermeidet hingegen eher Häuser in der roten Gefahrenzone und entscheidet sich für Häuser in der gelben oder blauen Zone. Diese Risikoeinstellung der einzelnen Teilnehmenden könnte ihre Entscheidung also massgeblich beeinflusst haben. Aus diesem Grund wurden die Teilnehmenden in zwei Gruppen aufgeteilt und ihr Entscheidungsverhalten untersucht.

Aufteilung in zwei Gruppen: Risikoscheu und risikofreudig

Die Teilnehmenden wurden anhand ihrer Risikoeinstellung in zwei Gruppen unterteilt. Alle Teilnehmenden, bei denen im Vortest ein risikoscheues Verhalten feststellbar war, wurden der risikoscheuen Gruppe zugeteilt. Die Teilnehmenden hingegen, die ein risikoneutrales oder risikosuchendes Verhalten aufwiesen, wurden der risikofreudigen Gruppen zugeteilt. In der risikoscheuen Gruppe befinden sich 16 und in der risikofreudigen 21 Teilnehmende. Bei der folgenden Analyse wurde die Auswertungsvariante 1 benutzt. In den folgenden Kapiteln wird zuerst auf die Vergleiche innerhalb der risikoscheuen und der risikofreudigen Gruppen eingegangen. Zu einem späteren Zeitpunkt werden die zwei Gruppen miteinander verglichen.

Vergleich innerhalb der risikoscheuen Gruppe

In diesem Kapitel werden nur die Daten der risikoscheuen Gruppe analysiert. Um herauszufinden wie das generelle Entscheidungsverhalten dieser Teilnehmenden war, wurde zuerst die durchschnittliche Punktzahl der Häuser zwischen den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit untersucht.

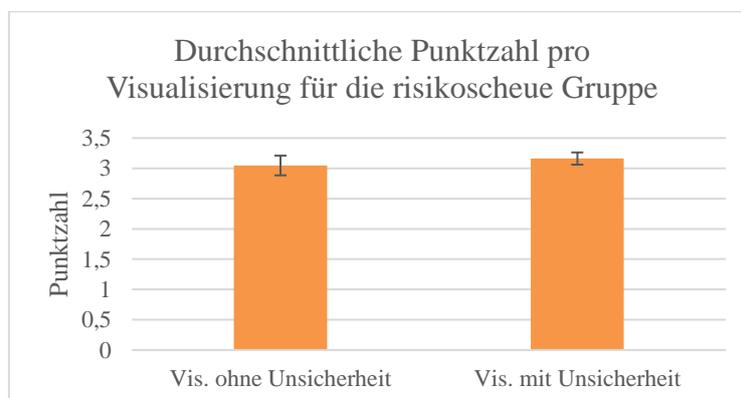


Abbildung 45: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikoscheue Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Im Durchschnitt haben die risikoscheuen Teilnehmenden bei einer Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit eine Punktzahl von 3.05 (Standardfehler: 0.16) erreicht, während für eine Karte mit Visualisierung der Unsicherheit der Mittelwert der Punktzahl bei 3.16 (Standardfehler: 0.10) lag. Diese Gruppe hat also bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit eher Häuser gewählt, die sich in einer Zone mit erhöhtem Risiko befanden. Dieser Unterschied ist aber statistisch gesehen nicht signifikant ($T = -0.702$, $df = 15$, $p = 0.493 > 0.05$).

Um das Entscheidungsverhalten der risikoscheuen Gruppe besser verstehen zu können, wurde die Punktzahl für die Karten mit der Darstellung der Unsicherheit nach ihrer Visualisierungsvariante aufgeteilt.

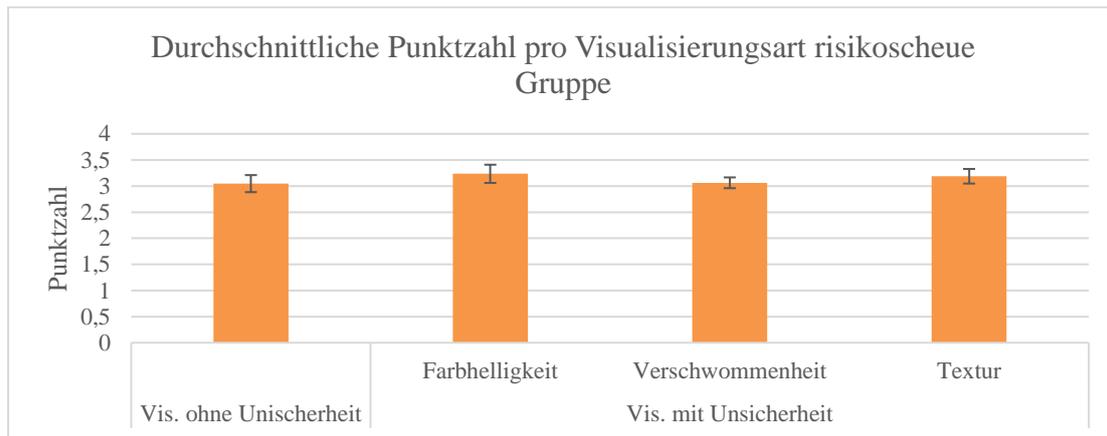


Abbildung 46: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikoscheue Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die durchschnittliche Punktzahl für die einzelnen Darstellungsvarianten der risikoscheuen Gruppe unterschieden sich kaum (Vis. ohne Unsicherheit: 3.05, Standardfehler: 0.16; Farbhelligkeit: 3.23, Standardfehler: 0.17; Verschwommenheit: 3.06, Standardfehler: 0.10; Textur: 3.19, Standardfehler: 0.14). Auch die statistische Analyse ergab keinen signifikanten Unterschied ($F = 0.513$, $df = 3$, $p = 0.675 > 0.05$). Die risikoscheue Gruppe scheint sich also bei ihren Entscheidungen von den verschiedenen Darstellungen der Gefahrenzone nicht beeinflussen zu lassen.

Vergleich innerhalb der risikofreudigen Gruppe

Auch innerhalb der risikofreudigen Gruppe wurde die durchschnittliche Punktzahl zwischen der Visualisierung ohne Unsicherheit und der Visualisierung mit Unsicherheit verglichen.

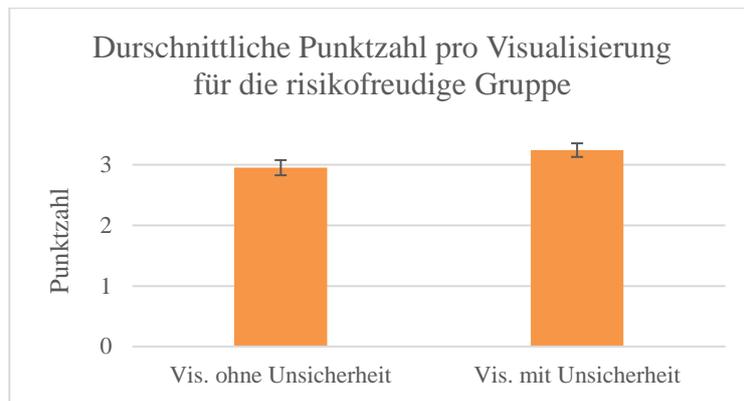


Abbildung 47: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die durchschnittliche Punktzahl der risikofreudigen Gruppe bei einer Karte ohne Visualisierung der Unsicherheit beträgt 2.95 (Standardfehler: 0.13) und bei einer Karte mit Visualisierung der Unsicherheit 3.24 (Standardfehler: 0.11). Wie aus Tabelle 8 ersichtlich, haben die risikosuchenden Teilnehmenden bei den Karten ohne Unsicherheit eher Häuser gewählt, die in der gelben oder blauen Gefahrenzone lagen (Haustyp 1, 2 oder 3). Da der Mittelwert bei den Karten mit Unsicherheit über dem Wert 3 liegt, deutet darauf hin, dass häufiger Häuser in der roten Zone gekauft wurden (Haustyp 4, 5 oder 6). Dieser Unterschied im Mittelwert ist knapp nicht signifikant ($T = -2.045$, $df = 20$, $p = 0.054 > 0.05$). Auch wenn der Unterschied nicht signifikant ist, kann man eine gewisse Tendenz erahnen. Im Vergleich zur risikoscheuen Gruppe, haben die Teilnehmenden der risikofreudigen Gruppe in den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit deutlich andere Häuser gewählt als in denen mit Visualisierung der Unsicherheit.

Wie bereits für die risikoscheue Gruppe, wurde auch für die risikofreudige Gruppe das Entscheidungsverhalten zwischen den einzelnen Darstellungsvarianten untersucht.

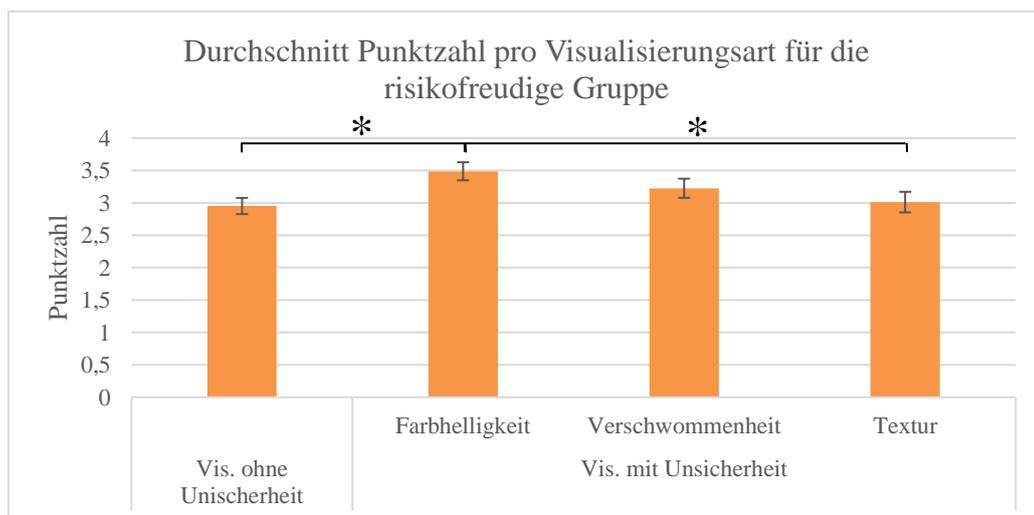


Abbildung 48: Durchschnittliche Punktzahl pro Visualisierung für die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Bei der risikofreudigen Gruppe scheint sich, im Vergleich zur risikoscheuen Gruppe, die durchschnittliche Punktzahl zwischen den einzelnen Darstellungen etwas stärker zu unterscheiden (vgl.

Abbildung 46). Tatsächlich ergab der Omnibus-Test über alle Darstellungen einen signifikanten Unterschied in der durchschnittlichen Punktzahl ($F(3, 60) = 4.054, p = 0.011 < 0.05$). Aus dem Post-hoc-Test geht hervor, dass sich die durchschnittliche Punktzahl zwischen der Darstellung ohne Unsicherheit und der Darstellung mit Farbhelligkeit sowie zwischen der Darstellung mit Farbhelligkeit und der Darstellung mit Textur (signifikant unterscheidet. Dies weist darauf hin, dass die risikofreudige Gruppe bei den Karten mit Darstellung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit andere Häuser gewählt hat als bei den Karten ohne Darstellung der Unsicherheit oder bei jenen mit Visualisierung der Unsicherheit durch Textur. Da die erreichte Punktzahl bei den Karten mit Farbhelligkeit am höchsten ist, deutet darauf hin, dass bei dieser Visualisierungsvariante häufig Häuser gewählt wurden, die in der roten Gefahrenzone lagen.

Vergleich zwischen der risikofreudigen und der risikoscheuen Gruppe

In diesem Kapitel wird untersucht, ob die zwei Gruppen risikoscheu und risikofreudig unterschiedliche Entscheidungen getroffen haben. Auch in diesem Fall wird mit der durchschnittlichen Punktzahl pro Gruppe und pro Visualisierung gearbeitet.

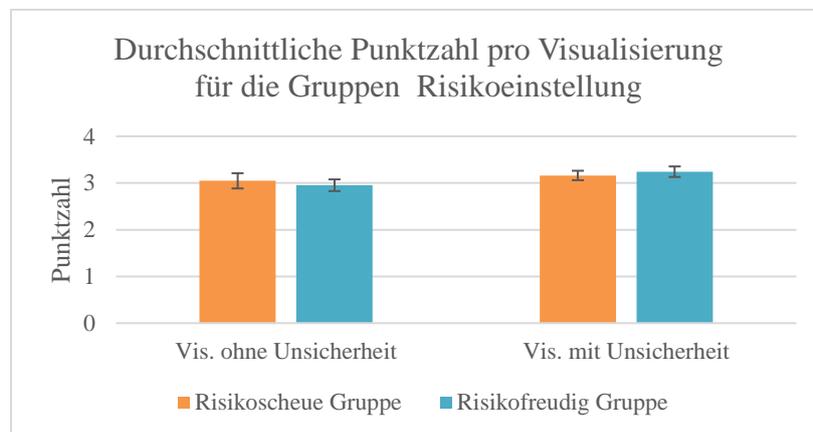


Abbildung 49: Durchschnittliche Punktzahl für die Visualisierung der Unsicherheit im Vergleich für die risikoscheue und die risikofreudige Gruppe (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die Mittelwerte pro Gruppe sind die gleichen wie in den letzten zwei Unterkapiteln beschrieben. Aus Abbildung 49 geht hervor, dass die risikoscheuen Teilnehmenden bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit eine höhere Punktzahl erreicht haben, als die risikofreudigen Teilnehmenden. Das Gegenteil wurde bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit festgestellt. Die Unterschiede sind nur gering, deshalb ergab die statistische Analyse keinen signifikanten Unterschied (Visualisierung ohne Unsicherheit: $T = 0.468, df = 35, p = 0.643 > 0.05$; Visualisierung mit Unsicherheit; $T = -0.515, df = 35, p = 0.610 > 0.05$).

4.2.9. Vergleich der Gruppen mit hoher und tiefer räumlicher Fähigkeit

Am Anfang des Experiments wurde für jeden Teilnehmenden seine räumliche Denkfähigkeit mithilfe des Fragebogens nach Münzer & Hölscher (2011) gemessen. Die Teilnehmenden wurden dann in zwei Gruppen unterteilt: Eine Gruppe mit hohen räumlichen Fähigkeiten und eine Gruppe mit tiefen räumlichen Fähigkeiten. Um die Gruppen zu bilden, wurde die Punktzahl der einzelnen Fragen pro Teilnehmende

aufsummiert und der Median berechnet. Dieser liegt bei 92 Punkten. Alle Teilnehmenden, die eine Punktzahl unter 92 erhalten hatten, wurden der Gruppe mit tiefen räumlichen Fähigkeiten zugewiesen. Teilnehmende, die eine Punktzahl von 92 oder mehr erreicht hatten, wurden der Gruppe mit hohen räumlichen Fähigkeiten zugeteilt. Dieses Verfahren basiert auf der Vorgehensweise von Frei (2015). Der Gruppe mit tiefen räumlichen Fähigkeiten wurden 18 Teilnehmende zugeteilt, der Gruppe mit hohen räumlichen Fähigkeiten 19. Der Vergleich dieser zwei Gruppen ist sehr wichtig, weil die räumlichen Fähigkeiten die Teilnehmenden beim Lesen der Karten beeinflussen können. Anders als bei der Risikoeinstellung wird für die Gruppen der räumlichen Fähigkeiten nur ein Vergleich zwischen den Gruppen gemacht und keinen innerhalb der Gruppen.

Vergleich durchschnittliche Punktzahl der beiden Gruppen für Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit

In einem ersten Schritt wurde die durchschnittliche Punktzahl für die Karten ohne und für die Karten mit Visualisierung der Unsicherheit zwischen den beiden Gruppen verglichen.

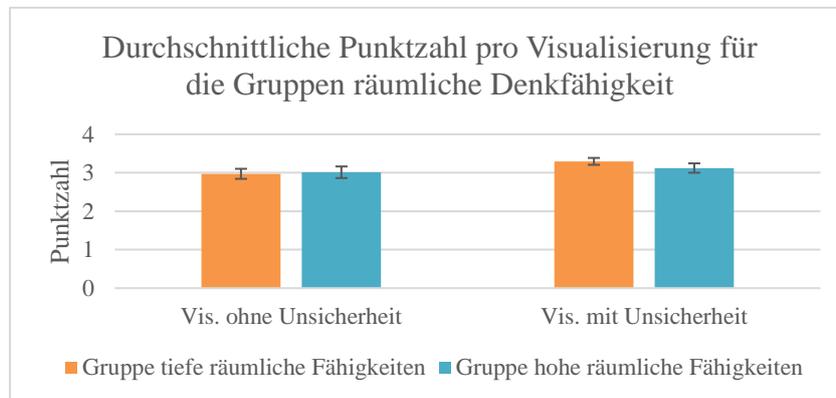


Abbildung 50: Vergleich durchschnittliche Punktzahl für eine Karte pro Visualisierung zwischen den Gruppen der räumlichen Fähigkeit (Mittlerwert, ± 1 Standardfehler)

Bei der graphischen Darstellung der durchschnittlichen Punktzahl für die Gruppen wird sichtbar, dass es bei beiden Bedingungen kaum Unterschiede gibt. Der Mittelwert der zwei Gruppen bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit ist fast gleich: 2.97 (Standardfehler: 0.13) für die Gruppe mit tiefen räumlichen Fähigkeiten und 3.01 (Standardfehler: 0.15) für die Gruppe mit hohen räumlichen Fähigkeiten. Dieser Unterschied ist nach statistischer Analyse nicht signifikant ($T = -0.204$, $df = 36$, $p = 0.840 > 0.05$).

Der Unterschied der durchschnittlichen Punktzahl bei den Karten mit Darstellung der Unsicherheit ist leicht grösser: 3.30 (Standardfehler: 0.09) für die Gruppe mit tiefen räumlichen Fähigkeiten und 3.12 (Standardfehler: 0.12) für die Gruppe mit hohen räumlichen Fähigkeiten. Auch dieser Unterschied ist statistisch gesehen nicht signifikant ($T = 1.135$, $df = 35$, $p = 0.246 > 0.05$).

4.2.10. Zufälligkeit der Entscheidung

Um sicher zu gehen, dass die unterschiedlichen Entscheidungen der Teilnehmenden von den verschiedenen Darstellungen verursacht wurden, wurde der Trend der Entscheidung während dem Experiment auf Zufälligkeit hin untersucht.

Wie schon im Kapitel 3.5.1 erklärt, wurden die Teilnehmenden in drei Serien unterteilt. Jede Serie sah die Karten in einer anderen, zufälligen Reihenfolge. In diesem Kapitel wird nun untersucht, ob die Reihenfolge der Karten die Entscheidungen der Teilnehmenden beeinflusst hat. Falls die Reihenfolge der Karten tatsächlich einen Einfluss auf die Wahl hatte, dann müssten die Teilnehmenden, z.B. am Anfang der Aufgabe gewisse Haustypen bevorzugt haben, welche sie zum Schluss nicht mehr auswählten. Mit einem Runs-Test wird untersucht, ob die Reihenfolge der gewählten Häuser zufällig ist oder nicht.

Um den Runs-Test durchführen zu können, wurde die durchschnittliche Punktzahl für jede einzelne Karte pro Serie berechnet. Die Mittelwerte über alle Teilnehmenden wurden nach der Reihenfolge der gesehenen Karten geordnet. Im Folgenden wird die Reihenfolge der durchschnittlichen Punktzahl pro Serie abgebildet.

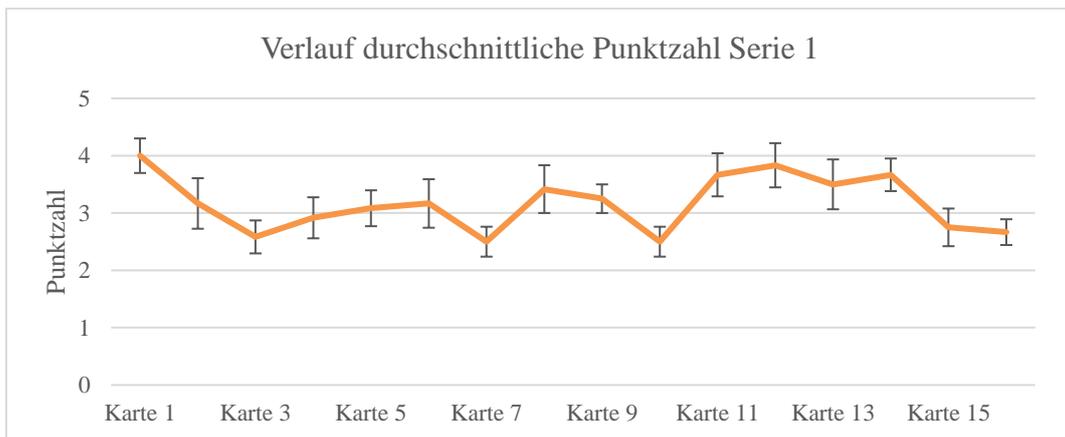


Abbildung 51: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 1, Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

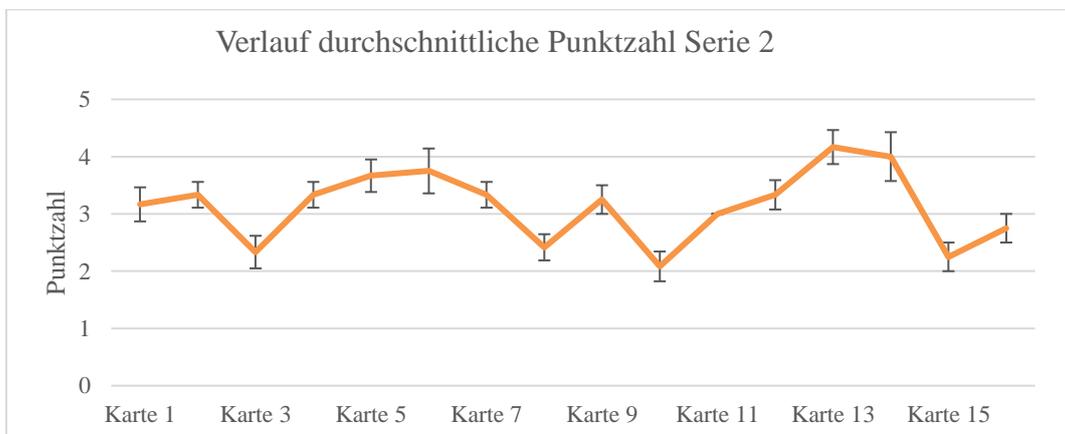


Abbildung 52: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 2, Mittelwert, ± 1 Standardfehler).

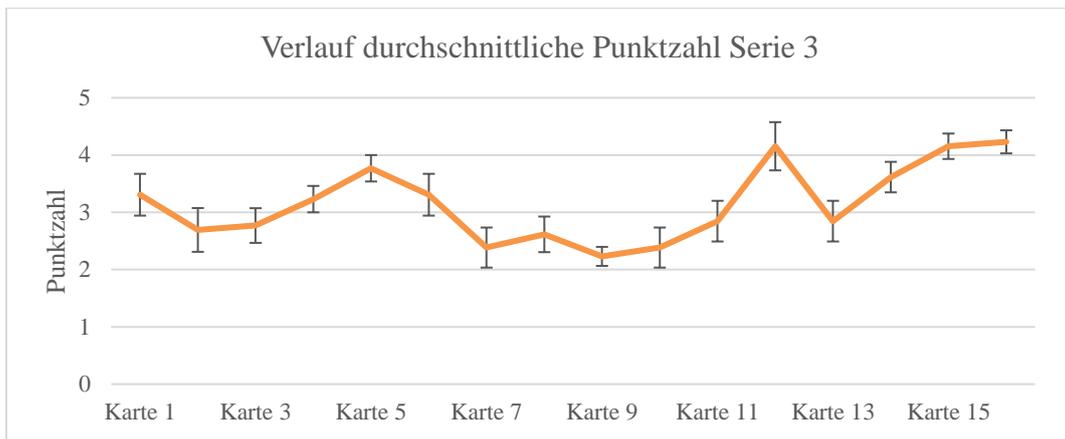


Abbildung 53: Verlauf der durchschnittlichen Punktzahl der gewählten Haustypen pro Karte nach gesehener Reihenfolge (Serie 3, Mittelwert, ± 1 Standardfehler).

In Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53 ist die Reihenfolge der im Durchschnitt gewählten Haustypen pro Serie erkennbar. Von blossen Auge ist es schwierig, einen Trend in den Daten zu erkennen. Aus diesem Grund wurde für jede Serie einen Runs-Test durchgeführt. Die statistische Analyse ergab bei keiner Serie einen signifikanten Trend in der durchschnittlichen Punktzahl pro Karte (Serie 1: Anzahl Sequenzen = 8, $Z = -0.197$, $p = 0.844 > 0.05$; Serie 2: Anzahl Sequenzen = 7, $Z = -0.776$, $p = 0.438 > 0.05$; Serie 3: Anzahl Sequenzen = 7, $Z = -0.776$, $p = 0.438 > 0.05$).

Die Tatsache, dass kein Trend ausmachbar ist, deutet darauf hin, dass die Entscheidung nicht von der Sequenz der gesehenen Karten beeinflusst wurde. Die Entscheidungen wurden für jede Karte separat getroffen, unabhängig davon, was die Teilnehmenden schon gesehen hatten. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die unterschiedliche Wahl der Häuser in grossem Masse von der Art der Darstellung beeinflusst wurde.

4.2.11. Vergleich der benötigten Zeit pro Visualisierung

Die bisherige Analyse der Resultate hat sich auf das Ergebnis der Entscheidung fokussiert. Nun werden die Resultate bezüglich dem zweiten Indikator der Entscheidungsleistung, die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung, vorgestellt. Je länger die Teilnehmenden für ihre Entscheidung gebraucht haben, desto ineffizienter waren sie bei ihrer Analyse. Da die Teilnehmenden vier Karten der gleichen Darstellungen gesehen haben, wurde der Mittelwert der Zeit pro Darstellung über diese vier Karten berechnet. Für die mittlere Zeit aller Karten mit Visualisierung der Unsicherheit wurde der Durchschnitt über die zwölf Karten mit Darstellung der Unsicherheit berechnet.

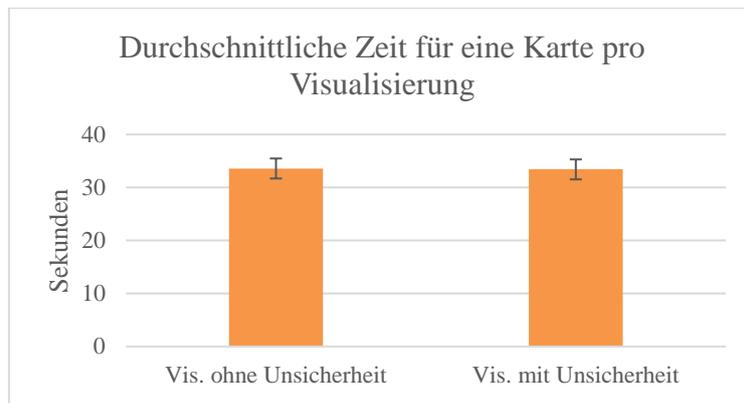


Abbildung 54: Durchschnittliche Zeit pro Karte für die Visualisierungen ohne und mit Unsicherheit über alle Teilnehmenden (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Die Teilnehmenden haben im Durchschnitt etwa gleich lang für ihre Entscheidung mit einer Karte ohne Darstellung der Unsicherheit gebraucht (Mittelwert: 33.59s, Standardfehler: 1.89) wie mit einer Karte mit Darstellung der Unsicherheit (Mittelwert: 33.42s, Standardfehler: 1.89). Der Unterschied ist daher statistisch nicht signifikant ($T = 0.145$, $df = 36$, $p = 0.885 > 0.05$).

Aufgrund des minimalen Zeitunterschiedes, wurden die Karten mit Visualisierung der Unsicherheit nach ihren Darstellungsvarianten aufgeteilt und einzeln analysiert.

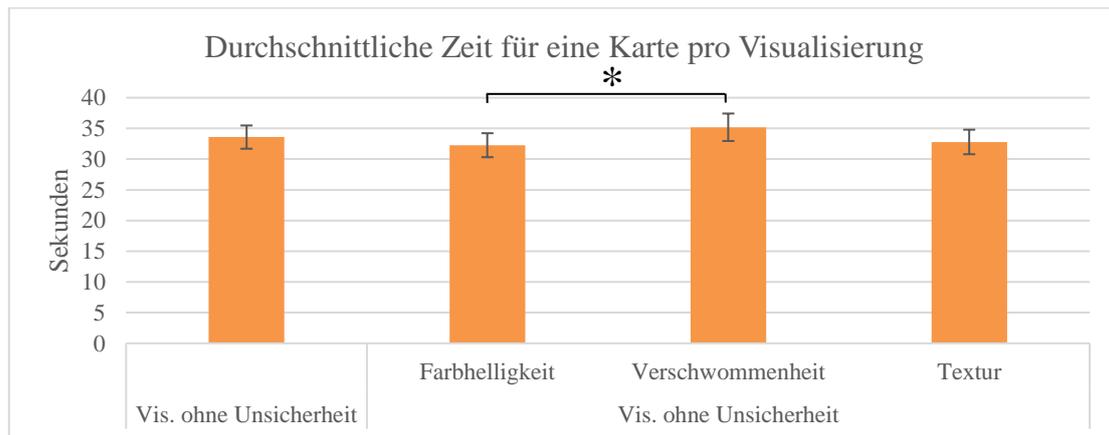


Abbildung 55: Durchschnittliche Zeit pro Karte für alle Visualisierungsarten einzeln über alle Teilnehmenden (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

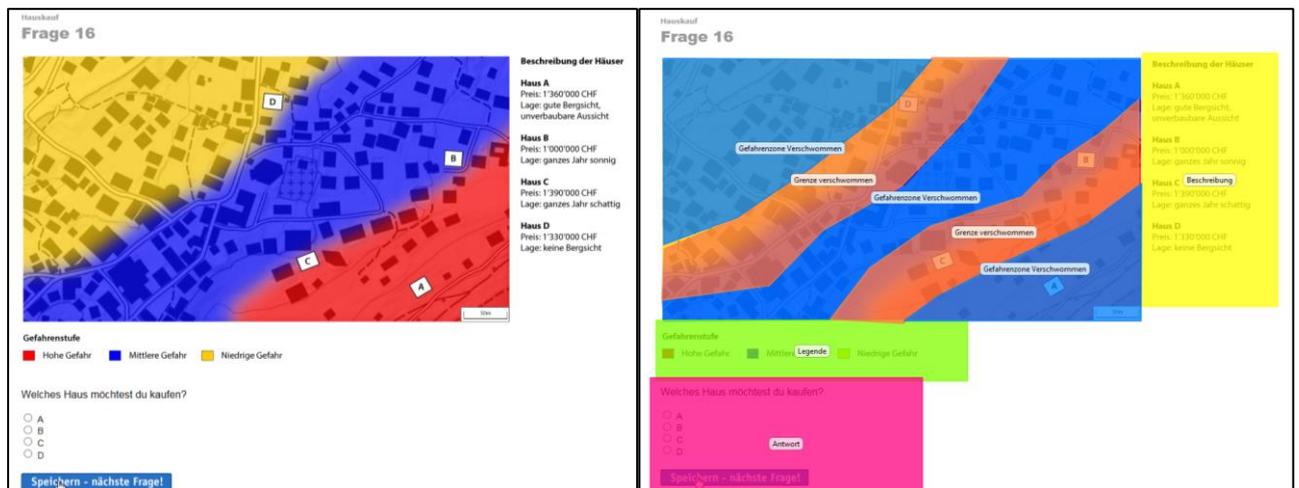
Im Durchschnitt haben die Teilnehmenden für ihre Entscheidung am längsten bei den Karten mit Verschwommenheit gebraucht (Mittelwert: 35.19s, Standardfehler: 2.23). Die durchschnittliche Zeit der Entscheidung mit den Karten, in denen die Grenze mit Farbhelligkeit visualisiert wurde (Mittelwert: 32.27s, Standardfehler: 1.95) ist hingegen sehr ähnlich zu der der Karten mit Textur (Mittelwert: 32.80s, Standardfehler: 2.00). Der Omnibus-Test über alle vier Darstellungsvarianten ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied in der durchschnittlichen Zeit pro Karte ($F = 1.536$, $df = 3$, $p = 0.209 > 0.05$). Im Durchschnitt war der Zeitaufwand der Teilnehmenden gleich gross für eine Karte ohne Unsicherheit, einer Karte mit Farbhelligkeit, einer Karte mit Verschwommenheit sowie einer Karte mit Textur.

Die Post-hoc-Tests ergaben ausserdem keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Darstellungen. Wenn man die Verteilung der Zeiten zwischen zwei Darstellungsarten separat untersucht,

erhält man einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Zeit für die Karten mit Farbhelligkeit und den Karten mit Verschwommenheit ($T = -2.157$, $df = 36$, $p = 0.038 < 0.05$). Tendenziell brauchten also die Teilnehmenden länger für ihre Entscheidung mithilfe der Karten mit Verschwommenheit als mit den Karten mit Farbhelligkeit.

Um den Grund des letzteren Unterschieds besser zu verstehen ist es sinnvoll, die Eye Tracker Daten zu analysieren (für die genaue Beschreibung des Eye Trackers siehe Kapitel 3.5.2). Im Folgenden werden nur die Resultate für die Karten mit Darstellung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit und Verschwommenheit berücksichtigt. Da bei einem Teilnehmenden die Aufnahme der Augenbewegung nicht korrekt funktioniert hat, werden nur die Resultate von 36 Testpersonen evaluiert.

Um zu verstehen, warum die Probanden für ihre Entscheidung mit den Karten mit Verschwommenheit länger gebraucht haben als mit den Karten mit Farbhelligkeit, wird zuerst untersucht, wo die Testpersonen hingeschaut haben. Die Software «Tobii Studio» (siehe auch Kapitel 3.5.2) bietet dafür ein nützliches Instrument: Die sogenannten «Areas of Interests» oder auch AOIs. Dank den AOIs ist es möglich verschiedene Bereiche auf einer Karte zu definieren. Die Bereiche aller Karten werden dann zu AOIs Gruppen zusammengefasst. In diesem Fall wurden die AOIs Gruppen «Gefahrenzone», «Grenze», «Beschreibung», «Legende» und «Antwort» definiert. Diese Gruppen wurden separat für die Karten mit Farbhelligkeit und mit Verschwommenheit hergestellt. Dadurch ist es möglich einen Vergleich dieser AOIs Gruppen zwischen den zwei Visualisierungsarten durchzuführen. In Abbildung 56 sind zwei Beispiele der definierten Bereiche ersichtlich. Links ist die Karte im Original abgebildet, so wie sie die Teilnehmenden gesehen haben. Rechts davon sind die entsprechenden AOIs dargestellt.



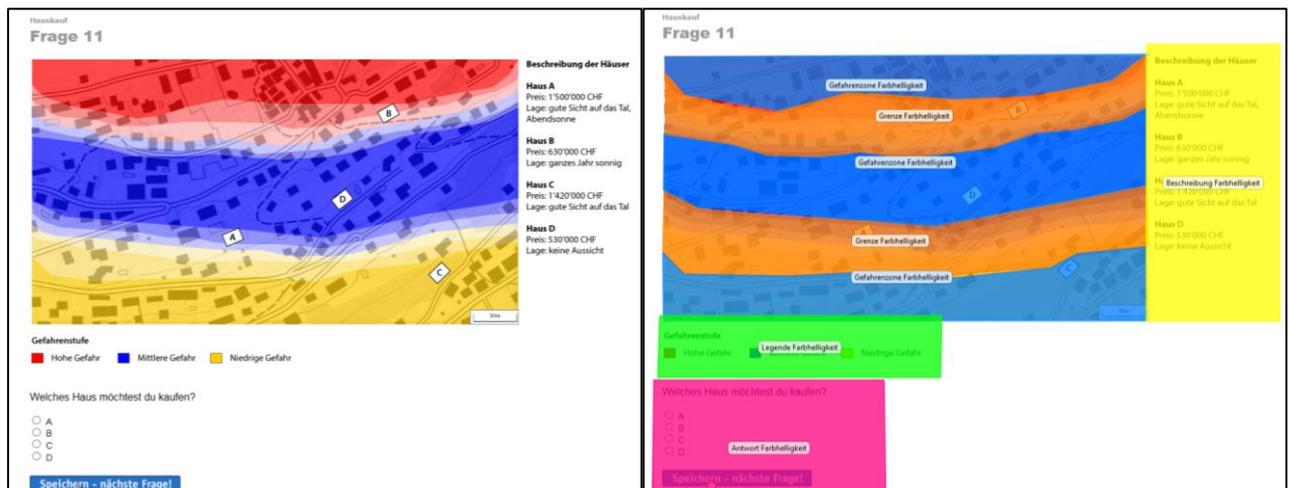


Abbildung 56: Beispiel definierte AOIs für Karte mit Verschwommenheit und Karte mit Farbhelligkeit. AOIs Gruppen: Orange = Grenze, Blau = Gefahrenzone, Gelb = Beschreibung, Grün = Legende, Rosa = Antwort.

Die Software «Tobii Studio» bietet eine Vielzahl von Masse um die Augenbewegung zu analysieren. Da in diesem Fall die Ursache eines zeitlichen Unterschieds untersucht wird, eignen sich Masse der Zeitdauer am besten. Ein solches Mass, welches in dieser Arbeit eingesetzt wurde, ist die Totale Fixierungsdauer in Sekunden. Dieses Mass misst die Summe der Dauer aller Fixierungen innerhalb einer AOIs Gruppe (Tobii, 2016). Der Eye Tracker misst die Augenbewegung jede 3.3 bis 33 ms. Jeder Augenbewegung wird eine Zeit und eine X,Y Koordinate zugewiesen. Somit ist es möglich die Winkelgeschwindigkeit der Bewegung der Augen zu messen. Diese wird in Grad pro Sekunde gemessen ($^{\circ}/s$). Wenn die Winkelgeschwindigkeit unter $30^{\circ}/s$ liegt, dann wird die Augenbewegung zur Fixierung klassiert (Tobii, 2016). Zusammenfassend: Wenn eine Person ihre Augen nur langsam bewegt bedeutet dies, dass etwas fixiert wurde.

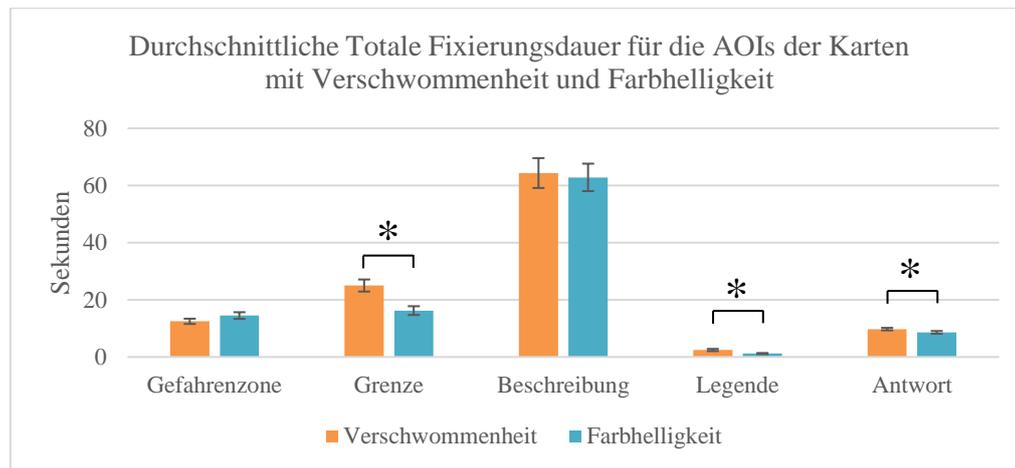


Abbildung 57: Totale Fixierungsdauer in Sekunden für die verschiedenen Bereiche der Karten mit Verschwommenheit und Farbhelligkeit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Abbildung 57 stellt die totale Fixierungsdauer in den verschiedenen Bereichen der Karten mit Verschwommenheit und Farbhelligkeit dar. Man erkennt sofort, dass die Teilnehmenden am längsten die Beschreibung angeschaut haben. Dies ist nicht überraschend, da die Beschreibung am meisten Informationen enthält. Die Grenze wurde am zweithäufigsten fixiert. Bei den Karten mit Verschwommenheit wurde die Grenze sogar noch etwas länger betrachtet als bei den Karten mit Farbhelligkeit. Auch die Gefahrenzonen generell wurden relativ lange fixiert. Der Antwortbereich und die Legende hingegen wurden nur kurz fixiert.

Der abhängige T-Test ergab einen signifikanten Unterschied der totalen Fixierungsdauer zwischen der Darstellung mit Verschwommenheit und der Darstellung mit Farbhelligkeit für die Bereiche «Grenze», «Antwort» und «Legende» (Grenze: $T = 5.078$, $df = 35$, $p = 0.000 < 0.05$; Antwort: $T = 3.014$, $df = 35$, $p = 0.005 < 0.05$; Legende: $T = 3.964$, $df = 35$, $p = 0.000 < 0.05$). In allen drei Fällen ist der Mittelwert der totalen Fixierungsdauer bei der Visualisierung mit Verschwommenheit höher als bei der Visualisierung mit Farbhelligkeit (Mittelwert Grenze Verschwommenheit = 25s, Standardfehler = 0.91s; Mittelwert Grenze Farbhelligkeit = 14.51s, Standardfehler = 1.16s; Mittelwert Antwort Verschwommenheit = 9.75s, Standardfehler = 0.45s; Mittelwert Antwort Farbhelligkeit = 8.6s, Standardfehler = 0.49s; Mittelwert Legende Verschwommenheit = 2.44s, Standardfehler = 0.40s; Mittelwert Grenze Farbhelligkeit = 1.21s, Standardfehler = 0.18s).

Die Totale Fixierungsdauer unterscheidet sich hingegen nicht zwischen der Darstellung mit Verschwommenheit und der Darstellung mit Farbhelligkeit für die Bereiche «Gefahrenzone» und «Beschreibung» (Gefahrenzone: $T = -1.957$, $df = 35$, $p = 0.058 > 0.05$; Beschreibung: $T = 0.511$, $df = 35$, $p = 0.612 > 0.05$).

Diese unterschiedlichen Fixierungsdauern sind wahrscheinlich der Grund dafür, dass die Teilnehmenden signifikant länger für ihre Entscheidung mit der Visualisierung durch Verschwommenheit gebraucht haben.

4.2.12. Zeitvergleich der Reihenfolge

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben gibt es gewisse Unterschiede in der Zeit zwischen den verschiedenen Darstellungen der Gefahrenzone. Einen möglichen Grund für diesen Unterschied könnte die Reihenfolge der Karten sein. Tatsächlich wäre es möglich, dass die Teilnehmenden für ihre Entscheidung mit den ersten Karten länger brauchten als mit den letzten Karten.

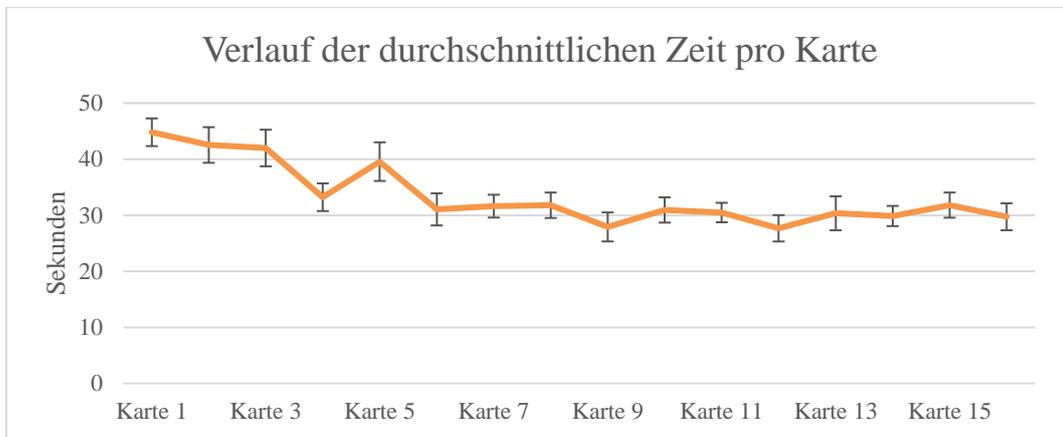


Abbildung 58: Verlauf der durchschnittlichen Zeit pro Karte. Wichtig: Die Reihenfolge der betrachteten Karten ist zwischen den Serien unterschiedlich. Anhand dieser Graphik kann deshalb nicht definiert werden, welche Darstellungsart wann gesehen wurde. Es geht hierbei nur um den Verlauf der durchschnittlichen Zeit (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Es scheint tatsächlich so, dass im Verlaufe des Experiments ein Lerneffekt stattgefunden hat. Während den ersten fünf Karten mussten die Teilnehmenden die Aufgabe verstehen und sich an Ablauf gewöhnen. Ab Karte 6 haben die Probanden einen Rhythmus oder eine Strategie gefunden und konnten somit ihre Entscheidung deutlich schneller treffen. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob sich die durchschnittliche Zeit für die ersten fünf Karten signifikant von der der restlichen elf Karten unterscheidet. Im Mittel brauchten die Teilnehmenden für eine der ersten fünf Karten 40.43 Sekunden (Standardfehler: 2.15) und für eine der letzten elf Karten 30.29 Sekunden (Standardfehler: 1.73). Dieser Unterschied im Mittelwert ist signifikant ($T = 7.509$, $df = 36$, $p = 0.000 < 0.05$). Die Teilnehmenden haben also für die ersten fünf Entscheidungen deutlich länger gebraucht als für die letzten elf. Da aber die Reihenfolge der Karten zufällig war, sollte dieser Lerneffekt die Resultate bezüglich der Zeit für die Darstellungsvarianten nicht beeinflussen.

4.2.13. Binäre logistische Regression

Bis hierhin wurden die Resultate bezüglich den zwei Indikatoren der Entscheidungsleistung analysiert. Im Folgenden wird der Prozess der Entscheidungsfindung näher betrachtet. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel eine logistische Regression durchgeführt. Mithilfe der logistischen Regression ist es möglich, ein Erklärungsmodell für die getroffenen Entscheidungen herzustellen und die Rolle der Faktoren Lage, Gefahr und Preis bei der Entscheidung besser zu verstehen.

Das Ziel einer logistischen Regression ist sehr ähnlich von dem einer einfachen oder multiplen Regressionsanalyse: Es wird untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen einer abhängigen Variable und einer oder mehreren unabhängigen Variablen gibt¹⁶. Der Unterschied besteht darin, dass bei einer logistischen Regression das Ergebnis der abhängigen Variable binär ist (Field, 2009). Das heisst, die abhängige Variable hat nur zwei Ausprägungen: 0 und 1. In meinem Fall sind auch die unabhängigen Variablen binär.

Die binäre logistische Regression schätzt mit welcher Wahrscheinlichkeit die abhängige Variable den Wert 1 annimmt, basierend auf den Ausprägungen der unabhängigen Variablen¹⁷. Es ist dabei sehr wichtig zu beachten, dass die binäre logistische Regression nicht den wahren Wert der abhängigen Variable schätzt, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass die abhängige Variable den Wert 1 annimmt. Aus diesem Grund liegt der geschätzte Wert der binären logistischen Regression immer zwischen 0 und 1: 0 bedeutet, dass die abhängige Variable auf keinen Fall den Wert 1 annimmt (sondern sicher den Wert 0), 1 bedeutet, dass die abhängige Variable sicher den Wert 1 annimmt (Field, 2009).

In dieser Arbeit wurde mithilfe der binären logistischen Regression untersucht, welche Eigenschaften ein Haus haben muss, damit es mit hoher Wahrscheinlichkeit gewählt wird. Die abhängige Variable nimmt die Ausprägung 0 an, wenn ein Haus nicht gewählt wurde und 1, wenn ein Haus gewählt wurde. Die unabhängigen Variablen stellen die verschiedenen Eigenschaften der Häuser dar: Gefahr, Lage, Preis und Sicherheit / Unsicherheit der Gefahrenzone. Einfachheitshalber wurden die Ausprägungen der unabhängigen Variablen auch binär klassiert. Folgende Tabelle zeigt die Ausprägung der einzelnen Variablen und deren Bedeutung.

Tabelle 11: Beschreibung der Ausprägung der unabhängigen Variablen der binären logistischen Regression

Ausprägung	Gefahr	Lage	Preis	Unsicherheit
0	keine Gefahr (gelbe oder blaue Zone)	schlecht	tief	ohne Unsicherheit
1	Gefahr (rote Zone)	mittel/gut	mittel/hoch	mit Unsicherheit

Es wurde nicht nur der Einfluss der Eigenschaften der Häuser untersucht, sondern auch die der Teilnehmenden selber. Zu diesem Zweck wurde zu den unabhängigen Variablen auch die Risikoeinstellung der Teilnehmenden hinzugefügt. Wenn die unabhängige Variable Risikoeinstellung den Wert 0 annimmt, bedeutet dies, dass der Teilnehmende risikoscheu ist, 1 hingegen deutet darauf hin, dass der Teilnehmende risikofreudig ist.

Für jede Karte und jeden Teilnehmenden wurde untersucht, welche der vier zur Verfügung stehenden Häuser er oder sie gewählt hat. Ein Beispiel wie die Daten aufgebaut wurden, ist in Tabelle 12 ersichtlich.

¹⁶Methodenberatung der UZH: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/lreg.html>, letzter Zugriff: 27.07.2016

¹⁷Methodenberatung der UZH: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/lreg.html>, letzter Zugriff: 27.07.2016

Tabelle 12: Struktur der Daten für die Berechnung der logistischen Regression

	ID	Risikoeinstellung	Darstellung	Haus	Gefahr	Lage	Preis	Unsicherheit	Entscheidung
Karte 1	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	A	0	1	1	1	1
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	B	0	1	1	0	0
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	C	0	0	0	0	0
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	D	1	1	0	1	0
Karte 2	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	A	0	1	1	0	0
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	B	0	0	1	1	0
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	C	1	1	1	0	1
	P01_seriel	1	Farbhelligkeit	D	1	0	1	1	0

Die Tabelle zeigt die Entscheidungen der Teilnehmerin P01 für zwei Karten mit Darstellung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit. Jede Karte besteht aus vier Zeilen, welche jede für ein Haus steht, das zur Auswahl verfügbar war. Die verschiedenen Eigenschaften der Häuser können aus den Spalten Gefahr, Lage, Preis und Unsicherheit gelesen werden. Für welches Haus der Teilnehmende sich schlussendlich entschieden hat, ist in der Spalte Entscheidung sichtbar. In der ersten Karte hat sich Teilnehmerin P01 für Haus A entschieden, in der zweiten für Haus C. Das gleiche Verfahren wurde für jeden Teilnehmenden über alle Darstellung durchgeführt. Diese Daten wurden als Ausgangspunkt für die Berechnung der binären logistischen Regression benutzt.

Es gibt verschiedene Methoden für die Berechnung der logistischen Regression. Field (2009) rät dazu, bei explorativen Arbeiten die schrittweise Methode «Vorwärtsauswahl mit Likelihood-Quotient» zu wählen. Bei dieser Methode wird zuerst nur ein Modell mit Konstante in der Gleichung erstellt. Dann werden schrittweise die unabhängigen Variablen dem Modell hinzugefügt. Bei der Likelihood-Quotient Methode wird das Modell mit der hinzugefügten, unabhängigen Variablen mit dem Modell ohne diese Variable verglichen. Verbessert sich das Modell signifikant durch Hinzufügung der Variable, wird die Variable beibehalten. Ist die Verbesserung nicht signifikant, wird die unabhängige Variable nicht dem Modell hinzugefügt. Bei jedem Schritt wird auch untersucht, ob die Variablen, die bereits im Modell enthalten sind, auch beibehalten werden müssen, wenn andere unabhängige Variablen hinzugefügt werden (Field, 2009).

Logistische Regression über alle Darstellungen

Die logistische Regression wurde zuerst über alle vier verschiedenen Darstellungsvarianten berechnet. Somit ist es möglich generell festzustellen, welche Rolle die verschiedenen Faktoren gespielt haben.

Tabelle 13: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für alle Darstellungen

		95% Konfidenzintervall Chanceverhältnis		
Eingefügte Variablen	B (Standardfehler)	Untere Grenze	Chanceverhältnis	Obere Grenze
Konstante	-2.02 (0.12)			
Lage	2.17* (0.14)	6.70	8.76	11.43
Gefahr	-1.37* (0.12)	0.20	0.26	0.32

$R^2 = .17$ (Hosmer & Lemeshow), $.18$ (Cox & Snell), $.26$ (Nagelkerke). Modell $X^2 = 431.73$, $p < 0.05$. * $p < 0.05$.

Tabelle 13 fasst die Resultate der binären logistischen Regression zusammen. In der ersten Spalte sind die Konstante und die unabhängigen Variablen aufgelistet, welche dem Modell hinzugefügt worden sind. Die unabhängigen Variablen, die im Modell beibehalten wurden, sind ausschlaggebend um die Wahrscheinlichkeit zu schätzen, mit der ein Haus gewählt wurde oder nicht. Über alle vier Darstellungsvarianten wird diese Wahrscheinlichkeit von den unabhängigen Variablen Lage und Gefahr geschätzt. Die unabhängigen Variablen Preis, die Sicherheit / Unsicherheit der Gefahrenzonen und Risikoeinstellung hingegen hatten keinen grossen Einfluss auf die Entscheidung.

Aus der zweiten Spalte sind die Beta Werte der Variablen und dessen Standardfehler aufgezeigt. Die Beta Werte sind die Werte der Konstante und der Koeffizienten. Somit ist es möglich die Gleichung der binären logistischen Regression aufzustellen, welche in diesem Fall folgendermassen aussieht:

$$P(\text{Entscheidung}) = \frac{1}{1 + e^{-(-2.02 + 2.17 * X_{1i} - 1.37 * X_{2i})}} \quad (2)$$

Das Resultat der Gleichung (1) ergibt die Wahrscheinlichkeit (P), dass ein Haus, basierend auf den Eigenschaften Lage und Gefahr, gewählt wird.

In Tabelle 13 ist das Chancenverhältnis aufgelistet. Das Chanceverhältnis zeigt auf, wie sich die Chance, dass ein Haus gewählt wird, verändert, wenn die unabhängige Variable um eine Einheit zu- oder abnimmt (Field, 2009). Wenn der Wert dieses Verhältnisses grösser als 1 ist, dann nimmt die Chance zu, dass ein Haus gewählt wird, wenn die unabhängige Variable zunimmt. Dies ist der Fall bei der Eigenschaften Lage. Wenn der Wert der Lage bei 1 liegt, was einer «mittleren» bis «guten» Lage entspricht (vgl. Tabelle 11), dann erhöht sich die Chance, dass das Haus gewählt wird.

Umgekehrt, wenn das Chanceverhältnis unter 1 liegt, nimmt mit der Zunahme der unabhängigen Variable die Chance ab, dass dieses Haus gewählt wird. Die unabhängige Variable Gefahr weist ein Chancenverhältnis kleiner als 1 auf. Wenn die Gefahr den Wert 1 annimmt, was für hohe Gefahr steht (vgl. Tabelle 11), nimmt die Chance ab, dass das Haus gewählt wird. Aus diesen Resultaten kann man schliessen, dass, wenn ein Haus eine «mittel» bis «gute» Lage hatte und in einer Zone mit geringeren Gefahr lag, die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Haus gewählt wurde, relativ hoch war.

Das Konfidenzintervall für das Chanceverhältnis gibt an, in welchem Intervall sich dieses Verhältnis mit 95% Wahrscheinlichkeit befindet. Sehr wichtig bei diesem Konfidenzintervall ist, dass es den Wert 1 nicht kreuzt. Dies würde die Richtung des Zusammenhanges verändern (Field, 2009). In diesem Fall kreuzt keiner der zwei Konfidenzintervalle den Wert 1. Dies bedeutet, dass die vorliegende Richtung des Zusammenhanges auch in der Grundgesamtheit vorhanden ist.

Mithilfe der binären logistischen Regression ist es möglich herauszufinden, welchen Faktor den grössten Einfluss auf die Entscheidung hatte. Dabei genügt es nicht nur die Regressionskoeffizienten zu betrachten, weil diese unstandardisiert sind (Mayerl & Urban, 2010). Mayerl & Urban (2010) erklären, dass aus diesem Grund eine Standardisierung der Koeffizienten notwendig ist. Dabei wird der Regressionskoeffizient mit der Standardabweichung multipliziert (Mayerl & Urban, 2010). Die Resultate der Standardisierung der Regressionskoeffizienten sind in folgender Tabelle ersichtlich.

Tabelle 14: Standardisierte Koeffizienten der logistischen Regression für alle Darstellungen zusammen

Variable	Standardisierter Koeffizient
Lage	$2,17 * 0,14 = 0,30$
Gefahr	$-1,37 * 0,12 = -0,16$

Um festzustellen welchen Faktor den grössten Einfluss auf die Entscheidung hatte, müssen die absolute Werte der standardisierten Koeffizienten verglichen werden (Mayerl & Urban, 2010). Aus Tabelle 14 erkennt man, dass bei der Entscheidung über alle vier Darstellungsvarianten vor allem die Lage eine wichtige Rolle gespielt hat, weil der standardisierte Koeffizient grösser ist, als der der Gefahr.

Logistische Regression für die Darstellung ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit separat

In einem zweiten Schritt wurde die binäre logistische Regression separat für die Darstellung ohne Unsicherheit und den drei Darstellungen mit Unsicherheit berechnet. Die Vorgehensweise ist die gleiche wie im vorherigem Kapitel.

Tabelle 15: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für die Darstellung ohne Unsicherheit

		95% Konfidenzintervall Chanceverhältnis		
Eingefügt	B (Standardfehler)	Untere	Chanceverhältnis	Obere
Konstante	-1.37 (0.19)			
Lage	1.37* (0.23)	2.51	3.93	6.15
Gefahr	-1.06* (0.22)	0.22	0.35	0.53

$R^2 = .09$ (Hosmer & Lemeshow), $.10$ (Cox & Snell), $.15$ (Nagelkerke). Modell $X^2 = 55.16$, $p < 0.05$. * $p < 0.05$.

Das Resultat für die Darstellung ohne Unsicherheit ist in

Tabelle 15 ersichtlich. Vergleicht man diese mit Tabelle 13, erkennt man, dass sich nur wenig verändert hat. Die zwei Variablen, die für die Vorhersage der Entscheidung wichtig sind, bleiben die selben: Lage und Gefahr. Auch die Richtung der Zusammenhänge bleibt bestehen.

Wenn die binäre logistische Regression für die drei Darstellungen der Unsicherheit berechnet wird, kommen gewisse Veränderungen vor. Tatsächlich wird zusätzlich zur Lage und Gefahr auch die unabhängige Variable Unsicherheit dem Modell hinzugefügt. Dies ist aus Tabelle 16 ersichtlich.

Tabelle 16: Zusammenfassung der binären logistischen Regression für alle Darstellungen mit Unsicherheit

		95% Konfidenzintervall Chanceverhältnis		
Eingefügt	B (Standardfehler)	Untere	Chanceverhältnis	Obere
Konstante	-2.53 (0.17)			
Lage	2.52* (0.18)	8.76	12.38	17.50
Gefahr	-1.46* (0.14)	0.18	0.23	0.31
Unsicherheit	0.35* (0.13)	1.10	1.42	1.82

$R^2 = .21$ (Hosmer & Lemeshow), $.22$ (Cox & Snell), $.31$ (Nagelkerke). Modell $X^2 = 403.67$, $p < 0.05$. * $p < 0.05$.

Die Tatsache, ob ein Haus in einer sicheren oder unsicheren Zone liegt, ist also von grosser Wichtigkeit bei der Schätzung der Entscheidung, wenn diese mithilfe einer Karte mit Visualisierung der Unsicherheit getroffen wird. Wie man am Wert des Chancenverhältnisses erkennen kann, nimmt die Chance zu, dass das Haus gewählt wird, wenn der Wert der Unsicherheit zunimmt. Das heisst, wenn das Haus in einer unsicheren Gefahrenzone liegt (Wert von 1 = unsicher, vgl. Tabelle 11), ist die Chance, dass es gewählt wird höher, als wenn es in einer sicheren Zone liegt. Die Richtung des Zusammenhangs für die Variablen Lage und Gefahr bleibt die gleiche wie vorhin. Dieses Resultat deutet darauf hin, dass bei Karten mit Visualisierung der Unsicherheit Häuser, die an einer «mittel» bis «guten» Lage liegen, keiner grossen Gefahr ausgesetzt sind und in einem unsicheren Gebiet liegen, die grösste Chance haben gewählt zu werden.

Die standardisierten Koeffizienten wurden auch für die Darstellung ohne Unsicherheit und die Darstellung mit Unsicherheit berechnet. Die Resultate sind in Tabelle 17 ersichtlich.

Tabelle 17: Standardisierte Koeffizienten der logistischen Regression für die Darstellung ohne Unsicherheit und den Darstellungen ohne Unsicherheit separat

Variable	Standardisierter Koeffizient
Visualisierung ohne Unsicherheit	
Lage	$1,37 * 0,23 = 0,32$
Gefahr	$-1,06 * 0,22 = -0,23$
Visualisierung mit Unsicherheit	
Lage	$2,52 * 0,18 = 0,45$
Gefahr	$-1,46 * 0,14 = -0,20$
Unsicherheit	$0,35 * 0,13 = 0,05$

Die absoluten standardisierten Koeffizienten für die Darstellung ohne Visualisierung der Unsicherheit zeigen auf, dass die Lage wieder der einflussreichste Faktor bei der Entscheidung war. Der Unterschied des Einflusses zwischen der Lage und der Gefahr ist aber nicht mehr so gross wie bei der logistischen Regression aller Darstellungen zusammen.

Auch bei den Darstellungen mit Unsicherheit war die Lage der wichtigste Faktor bei der Entscheidung. Der Unterschied des Einflusses der Lage und der Gefahr ist deutlich grösser als bei der Visualisierung ohne Unsicherheit. Der Faktor Sicherheit / Unsicherheit der Gefahrenzone hat hingegen nur eine Nebenrolle bei der Entscheidung gespielt.

4.3. Schlussfragen

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Fragen, die nach dem Hauptexperiment gestellt wurden, analysiert. Diese Fragen beziehen sich alle auf das Hauptexperiment und sollten dazu dienen, das Vorgehen der Teilnehmenden besser zu verstehen.

4.3.1. Wichtigkeit der Faktoren bei der Entscheidung

Die erste Frage des Schlussfragebogens bezog sich auf die drei Faktoren Gefahr, Lage und Preis. Das Ziel dieser Frage war es herauszufinden, welcher dieser Aspekte für jede einzelne Testperson am wichtigsten war. Die Teilnehmenden konnten eine Rangliste erstellen mit dem wichtigsten Aspekt auf Platz 1. Die Resultate dazu sind in Abbildung 59 ersichtlich.

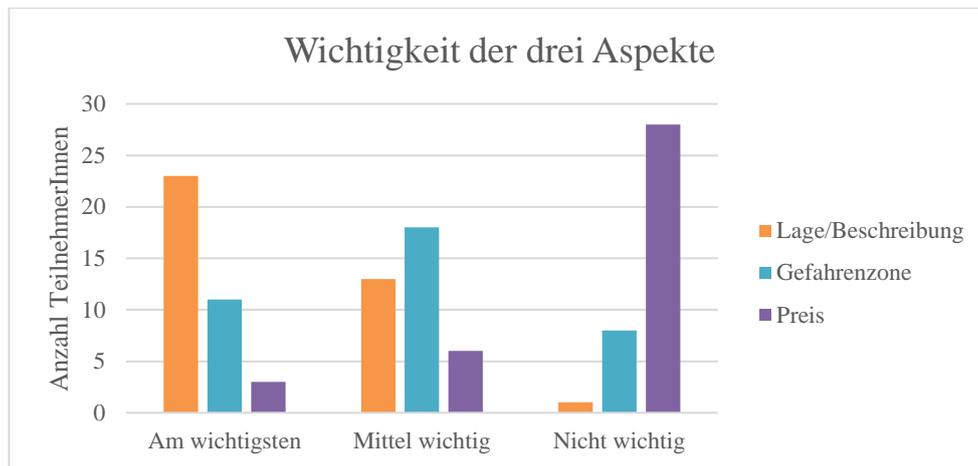


Abbildung 59: Wichtigkeit der drei Aspekte Lage, Gefahr und Preis

Wie man in Abbildung 59 erkennen kann, war für die meisten Teilnehmenden der wichtigste Aspekt die Lage des Hauses. Auf dem zweiten Platz liegt die Gefahrenzone, in dem das Haus sich befindet. Als unwichtigster Aspekt wurde der Preis angegeben. Es scheint, als ob der Preis beim Hauskauf keine grosse Rolle spielte.

4.3.2. Angewendete Strategie

Um das Vorgehen der Teilnehmenden besser zu verstehen, wurden sie gefragt, welche Strategie sie bei ihrer Entscheidung angewendet haben. Dies war eine offene Frage, d.h. die Teilnehmenden konnten offen über ihre Strategie schreiben.

Die Analyse der Antworten hat ergeben, dass sämtliche Teilnehmenden die Reihenfolge der Faktoren beschrieben haben, die sie berücksichtigt haben. Aufgrund dieser Faktoren und basierend auf einem Ausschlussverfahren haben die Probanden dasjenige Haus gekauft, welches ihnen am besten passte. Was die Reihenfolge der berücksichtigten Faktoren angeht, widerspiegeln sie in gewissem Masse die Resultate zur Frage der Wichtigkeit der Aspekte (vgl. Kapitel 4.3.1.). Bei der Beschreibung der eigenen Strategie haben 17 Teilnehmende angegeben, dass sie zuerst den Faktor Lage berücksichtigt haben. Dabei waren Sonne, gute Aussicht und Nähe zum See sehr wichtig. Schattige Häuser waren hingegen sehr unbeliebt. Elf dieser Teilnehmenden hat nach dem Faktor Lage, die Gefahr berücksichtigt. Für vier Testpersonen war der Preis wichtiger oder genau gleich wichtig wie die Gefahr. Zwei Teilnehmende haben hingegen nur den Faktor Lage berücksichtigt.

18 Teilnehmende haben angegeben, dass sie zuerst die Gefahr bei ihrer Entscheidung berücksichtigt haben. Dies entspricht nur teilweise dem Resultat in Abbildung 59. Etwa die Hälfte dieser Teilnehmenden hat erwähnt, dass sie Häuser in der roten Gefahrenzone kategorisch ausgeschlossen haben oder nur in Frage kamen, wenn sich das Haus am Rande der Gefahrenzone befand. Nach der Gefahr war für 10 Teilnehmende die Lage der wichtigste Faktor bei der Entscheidung. Für die restlichen Teilnehmende, wurden nach der Analyse der Gefahr die zwei Aspekte Lage und Preis zusammen berücksichtigt.

Nur 2 der 37 Teilnehmenden haben zuerst den Preis berücksichtigt. Beide haben dann das Zusammenspiel von Lage und Gefahr beachtet.

4.3.3. Schwierigkeit der Hauptaufgabe

Die Probanden mussten bei dieser Frage angeben, wie schwierig sie auf einer Skala von 1 bis 5 die Aufgabe mit dem Hauskauf gefunden haben. Der Wert 1 steht für sehr einfach, 5 für sehr schwierig.

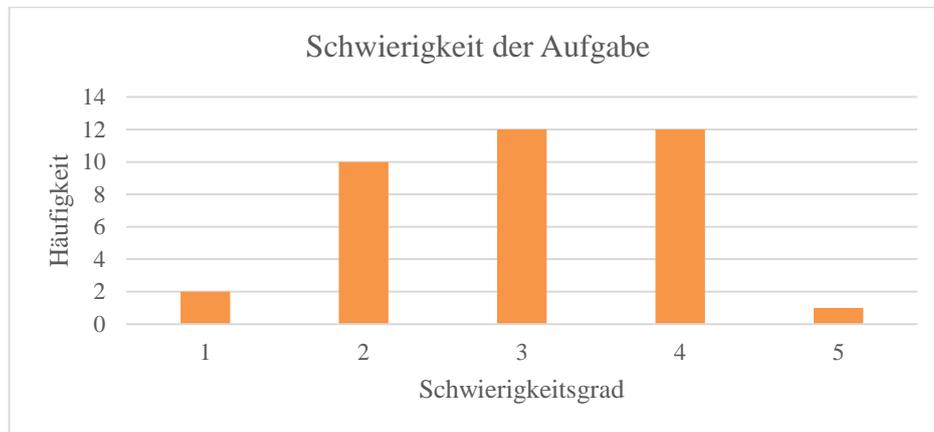


Abbildung 60: Häufigkeiten zur Frage der Schwierigkeit der Aufgabe, 1 = sehr einfach, 5 = sehr schwierig

Nur zwei Teilnehmenden haben die Aufgabe als sehr einfach empfunden. Der Mittelwert von 3 (Standardfehler: 0.16) bezeugt, dass die Mehrheit der Teilnehmenden der Meinung war, dass die Aufgabe eine mittlere Schwierigkeit hatte. Die Entscheidung, welche die Probanden in dieser Studie treffen mussten, war also nicht trivial. Dies bestätigt die angewandte Methode, die als Ziel hatte, die Entscheidung möglichst schwierig zu gestalten.

4.3.4. Interpretation der Visualisierungen

Die Teilnehmenden wurden gefragt, was ihrer Meinung nach die verschiedenen Darstellungen der Gefahrenzonen bedeuten. Dies war eine offene Frage, die Teilnehmenden hatten keine Auswahl zu Verfügung. Es ist deshalb erstaunlich, dass viele Teilnehmende die Kernaussage der Darstellung verstanden haben. Zwar haben nur sechs Teilnehmenden das Wort «Unsicherheit» gebraucht, dafür sind oft andere, ähnliche Begriffe benutzt worden, wie z.B. «Genauigkeit», «fehlende Sicherheit», «Übergangszone» oder «fliessende Grenzen». Etwa 15 Teilnehmende waren der Meinung, dass «es keine klare Grenze bei Naturgefahren gibt» und dass deshalb eine unsichere Darstellung «realistischer» sei.

Es gab aber auch Teilnehmende, die die Darstellungen nicht korrekt interpretiert haben. Einige von ihnen waren z.B. der Meinung, dass die verschiedenen Darstellungen unterschiedliche Arten von Gefahren repräsentieren. Zwei Teilnehmenden dachten, dass mit diesen Darstellungen die «Gefahr weniger wichtig» ist. Etwa sechs Teilnehmende haben zugegeben, dass sie nicht wussten, was die verschiedenen Visualisierungen darstellen sollten oder haben die Frage nicht beantwortet.

Schlussendlich kann man festhalten, dass 27 Teilnehmenden die Bedeutung der Visualisierung richtig interpretiert haben, auch wenn sie nicht immer das Wort Unsicherheit benutzt haben. 5 Probanden haben

den Zweck der verschiedenen Darstellungen eindeutig nicht verstanden. Bei den restlichen 5 ist es nicht möglich endgültig festzuhalten, ob sie die Darstellung richtig verstanden haben oder nicht.

Gewisse Teilnehmenden haben ausserdem angegeben, dass die «Übergänge informativ waren» und dass diese ihnen als «Entscheidungshilfe» dienten. Die Probanden waren sich also zu einem gewissen Masse bewusst, dass die Art von Visualisierung die «Wahrnehmung der Gefahr» und somit «ihre Entscheidung» beeinflussen könnte. In diesem Zusammenhang haben 8 Personen angegeben, dass sie mit der Visualisierung der Unsicherheit eher ein Haus gewählt haben, dass in einer Zone mit hoher Gefahr lag.

4.3.5. Eignung der Visualisierungsvarianten für die Darstellung von Unsicherheit

Alle Teilnehmenden wurde gefragt, welche Visualisierung sie am ehesten mit Unsicherheit in Zusammenhang bringen würden und zwar unabhängig davon, ob sie verstanden hatten, dass die unterschiedlichen Visualisierungen Unsicherheit darstellen sollten. Bei dieser Frage mussten die Teilnehmenden mindestens eine Visualisierung auswählen, einige Teilnehmenden haben aber auch mehrere Darstellungen gewählt. Aus diesem Grund ergibt die Summe der Häufigkeit einen Wert höher als die Anzahl Teilnehmende.

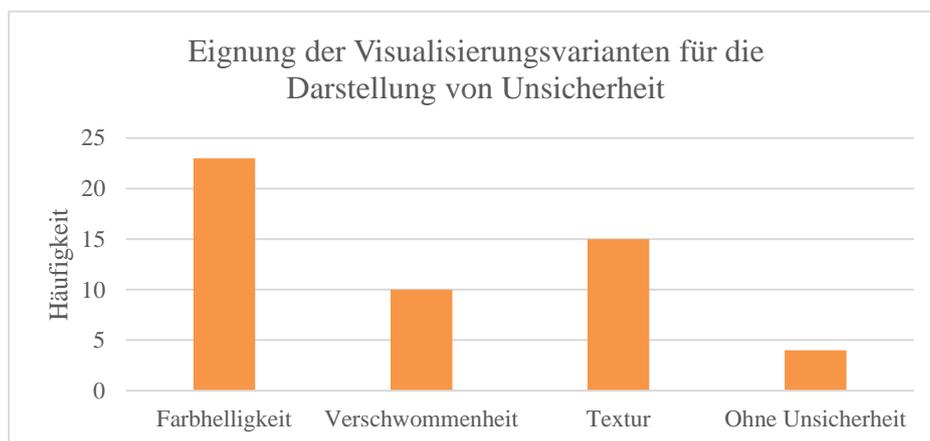


Abbildung 61: Häufigkeit der angegebenen Eignung der Visualisierungsvarianten für die Darstellung von Unsicherheit

Aus Abbildung 61 ist ersichtlich, dass die Mehrheit der Teilnehmenden vor allem die Farbhelligkeit mit Unsicherheit verbinden. Viele haben auch die Textur als gute Darstellung für die Unsicherheit genannt. Von der Darstellung mit Verschwommenheit waren weniger Teilnehmende überzeugt. Sie denken, dass diese Darstellung kaum nützlich für die Visualisierung der Unsicherheit ist. Überraschend ist die Tatsache, dass gewisse Teilnehmende die Darstellung ohne Unsicherheit geeignet gefunden haben, um die Unsicherheit zu visualisieren. Dies ist unerwartet, da bei diesen Karten gar keine Unsicherheit visualisiert war. Eine Erklärung könnte sein, dass diese Teilnehmenden die Frage nicht richtig verstanden haben. Da nur eine kleine Minderheit dieser Meinung war, kann man dieses Resultat vernachlässigen.

4.3.6. Kontrolle der Teilnehmenden

Um sicherzustellen, dass alle Teilnehmenden die gleichen Voraussetzungen und die gleichen Bedingungen während der Studie hatten, wurden sie gefragt, ob sie schon einmal ein Haus gekauft und ob

sie eine der gesehenen Ortschaften erkannt hatten. Von den 37 Teilnehmenden war nur der Teilnehmer P10 näher bei einem Hauskauf involviert. Dabei durfte dieser Teilnehmer seine Meinung bei der Entscheidung für ein Ferienhaus seiner Eltern einbringen. Diese Erfahrung könnte dem Teilnehmenden einen Vorteil bei der Aufgabe verschafft haben. Da aber, wie er selber geschrieben hat, dieses Ereignis schon relativ lange her ist und er nicht bei der schlussendlichen Entscheidung miteinbezogen wurde, ist der Vorteil vernachlässigbar.

Da die Karten nur einen kleinen Ausschnitt eines Dorfes darstellten, war es für die Teilnehmenden sehr schwierig, eine Ortschaft zu erkennen. Tatsächlich hat keine Testperson eine Ortschaft erkannt. Dies weist darauf hin, dass keiner der Teilnehmenden einen Vorteil bei der Analyse der Karte aufgrund von lokalem Vorwissen hatte.

Diese zwei Resultate sind eine weitere Bestätigung, dass die Gruppe der Teilnehmenden sehr homogen ist.

5. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die erhaltenen Resultate diskutiert. Es wird versucht meine Resultate mit der bestehenden Literatur bezüglich Visualisierung der Unsicherheit und Entscheidungen zu verbinden. Dieses Kapitel ist nach den einzelnen Forschungsfragen strukturiert, die in Kapitel 3.1 vorgestellt wurden.

5.1. Haben die Teilnehmenden die Visualisierung der Unsicherheit verstanden?

Bevor die drei Forschungsfragen aus Kapitel 3.1 diskutiert werden, ist es wichtig zu verstehen wie die Teilnehmenden die verschiedenen Visualisierungen interpretiert haben. Den Teilnehmenden wurde zu Beginn der Hauptaufgabe nicht erklärt, was die verschiedenen Visualisierungen darstellen sollten. Sie sollten eigenständig erfahren, dass es sich bei den verschiedenen Visualisierungen um Unsicherheit handelt. Hätten die Testpersonen die verschiedenen Visualisierungen der Grenze nicht als Darstellung der Unsicherheit interpretiert, wäre es nicht möglich gewesen, die Forschungsfragen zu beantworten. Aus diesem Grund wurden die Teilnehmenden in den Schlussfragen nach ihrem Verständnis für die verschiedenen Visualisierungen befragt.

Wie die Resultate in Kapitel 4.3.4 zeigen, haben 27 von den 37 Teilnehmenden die Visualisierungen richtig interpretiert. Dies deutet darauf hin, dass die gewählten Visualisierungen intuitiv für die Visualisierung von Unsicherheit waren. Die Tatsache, dass den Teilnehmenden vor der Studie nicht erklärt wurde, was die verschiedenen Visualisierungen bedeuten, unterstützt diese Erkenntnis eindeutig. Somit halte ich fest, dass es möglich ist, die Forschungsfragen anhand der gesammelten Daten zu beantworten.

Bezüglich der Eignung der Daten für die Beantwortung der Forschungsfragen wurde auch untersucht, ob die getroffenen Entscheidungen von der Reihenfolge der gesehenen Karten abhängen. Sollte dies zutreffen, würde das bedeuten, dass die Teilnehmenden ihre Entscheidung aufgrund eines Musters und nicht aufgrund der Visualisierung der Unsicherheit getroffen haben. Um sicherzustellen, dass die Probanden ihre Entscheidung nicht anhand eines Musters im Zusammenhang mit der Reihenfolge der gesehenen Karten getroffen haben, wurde die Reihenfolge der durchschnittlichen Punktzahl auf Zufälligkeit untersucht (siehe Kapitel 4.2.10). Die Resultate ergaben, dass bei keiner Serie ein Trend festzustellen war. Da die An- und Abwesenheit der Unsicherheit auf der Karte und die verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit die einzigen unabhängigen Variablen sind, scheint es naheliegend zu sein, dass die unterschiedlichen Entscheidungen von diesen Variablen verursacht wurden. Somit sind meiner Meinung nach die gesammelten Daten für die Beantwortung der Forschungsfragen geeignet.

5.2. Forschungsfrage 1: Hat die Visualisierung der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte einen Einfluss auf die Leistung einer komplexen Entscheidung?

Diese Forschungsfrage hat zum Ziel herauszufinden, ob sich die Leistung einer komplexen Entscheidung mit oder ohne Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet. Wie schon erläutert, wird in dieser Arbeit die Entscheidungsleistung mithilfe von zwei Indikatoren gemessen: Das Ergebnis der Entscheidung und die benötigte Zeit für die Entscheidung. Zuerst werden die Resultate bezüglich dem Ergebnis der Entscheidung diskutiert. Als Erinnerung: Die Häuser wurden in sechs Haustypen klassifiziert und anhand von zwei Methoden ausgewertet (siehe Kapitel 4.2.1 und 4.2.2). Im Folgenden werden die Resultate beider Auswertungsmethoden näher untersucht. Anschliessend wird analysiert welche Rolle spezifische Eigenschaften des Entscheidungstragenden bei dem Ergebnis einer Entscheidung spielen. Zum Schluss wird auf den zweiten Indikator der Entscheidungsleistung eingegangen: Die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung.

5.2.1. Vergleich Indikator 1: Ergebnis der Entscheidung zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit

Vergleich Ergebnis der Entscheidung: Durchschnittliche Punktzahl

Wenn man die durchschnittliche Punktzahl vergleicht erkennt man, dass bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit die Probanden eine leicht tiefere Punktzahl erreicht haben als bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit (siehe Kapitel 4.2.3). Da bei der Klassifikation den Häusern in der roten Gefahrenzone eine höhere Punktzahl zugewiesen wurde (siehe dazu Tabelle 8) deutet dies darauf hin, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit öfters ein Haus aus der höchsten Gefahrenzone gewählt haben. Ich vermute deshalb, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit die Teilnehmenden risikofreudiger geworden sind und deshalb auch häufiger Häuser mit hoher Gefährdung gewählt haben. Auch wenn der Unterschied der durchschnittlichen Punktzahl statistisch gesehen nicht signifikant ist, lässt sich trotzdem erahnen, dass das Ergebnis der Entscheidung sich zwischen den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet.

Dass mit Visualisierung der Unsicherheit sich das Ergebnis einer Entscheidung generell verändert, wird von der bestehenden Literatur unterstützt. Beispiele dazu sind die Studien von Deitrick & Edsall (2006) und Pyysalo & Oksanen (2014). Bei diesen Studien mussten die Teilnehmenden einfache Schätzungsfragen mithilfe von Karten mit Visualisierung der Unsicherheit beantworten (siehe Kapitel 2.6.1). Da die Aufgabe in meiner Studie komplexer war, ist es schwierig die hier erhaltenen Resultate mit denen von Deitrick & Edsall (2006) und Pyysalo & Oksanen (2014) zu vergleichen.

Dass meine Aufgabe als komplex empfunden wurde, zeigt sich anhand der Resultaten in Kapitel 4.3.3. Die Mehrheit der Teilnehmenden haben die Aufgabe als «mittel» bis «eher schwierig» eingestuft. Einige Testpersonen haben mir auch am Ende des Experiments mündlich mitgeteilt, dass sie die Aufgabe als eher komplex empfunden haben. Aufgrund dieser Erkenntnis vermute ich, dass meine Studie mit jener von

Riveiro et al. (2014) oder von Hope & Hunter (2007a) besser vergleichbar ist. In diesen Studien mussten die Probanden komplexere Aufgaben lösen als bei Deitrick & Edsall (2006) und Pyysalo & Oksanen (2014).

Als Erinnerung: In der Studie von Riveiro et al. (2014) mussten Experten der Luftabwehr anhand von unsicheren Informationen über Position, Geschwindigkeit, Höhe, usw., festlegen, welche Flugobjekte womöglich eine Bedrohung darstellen könnten. Riveiro et al. (2014) haben herausgefunden, dass die Testpersonen bei der Bedingung mit Visualisierung der Unsicherheit generell die Bedrohung eines Flugobjekts höher eingestuft haben als ohne Visualisierung der Unsicherheit. Die Gefahr wurde also bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit höher eingeschätzt als ohne Visualisierung der Unsicherheit. Diese Erkenntnisse von Riveiro et al. (2014) konnte in meiner Studie nicht festgestellt werden. Wie schon erwähnt haben die Teilnehmenden meiner Studie bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit öfters Häuser in der Zone mit höchster Gefahr gewählt. Deshalb vermute ich, dass, im Gegensatz zur Erkenntnis von Riveiro et al. (2014), durch die Visualisierung der Unsicherheit die Gefahr als weniger hoch empfunden wurde.

Eine ähnliche Erkenntnis konnten Hope & Hunter (2007a) feststellen. In ihrer Studie hatten die Probanden das Kommando über ein Boot, welches sich von der Zone A in Richtung Zone B bewegte. Die Navigation in Zone B war verboten. Die Grenze zwischen der Zone A und der Zone B wurde auf verschiedene weisen unsicher dargestellt. Die Teilnehmenden mussten sich entscheiden ab welchem Punkt sie das Boot umkehren würden um die Navigation in der Zone B zu vermeiden. Hope & Hunter (2007a) haben herausgefunden, dass bei einigen Darstellungen der Unsicherheit die Teilnehmenden ihr Boot viel später wendeten. Wie in meiner Studie, sind auch die Probanden von Hope & Hunter (2007a) bei der Visualisierung der Unsicherheit ein höheres Risiko eingegangen.

Aufgrund dieser Erkenntnis vermute ich, dass die Visualisierung der Unsicherheit auf einer Karte einen Einfluss auf die Wahrnehmung einer Gefahr oder eines Risikos haben kann. Dieser Vermutung wird bei der Diskussion von Forschungsfrage 3 näher eingegangen (siehe Kapitel 5.4.2).

Zusammenfassend halte ich anhand meiner Resultaten fest, dass die Teilnehmenden bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit im Vergleich zu den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit möglicherweise andere Entscheidungen getroffen haben. Bei der Informationsgrundlage mit Visualisierung der Unsicherheit haben die Teilnehmenden häufiger ein Haus in der Zone mit der höchsten Gefahr einer Naturkatastrophe gewählt. Da aber der Unterschied zwischen den Punktzahlen nicht signifikant ist, ist es nicht möglich, aufgrund dieser Resultate, eine abschliessende Aussage bezüglich dem Ergebnis der Entscheidung zu formulieren. Des Weiteren vermute ich, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit sich die Wahrnehmung der Gefahr verändert hat.

Wie in Kapitel 4.2.1 erläutert, birgt die Auswertungsmethode 1 (Punktzahl) gewisse Nachteile. Tatsächlich ist es anhand dieser Methode nicht möglich zu ermitteln, welcher Haustyp am beliebtesten oder am unbeliebtesten war. Ausserdem kann die Verteilung der gewählten Haustypen zu Verzerrungen bei der Interpretation der Punktzahl führen. Aufgrund dieser Verzerrungen werden im Folgenden auch die Resultate der Auswertungsvariante 2, die normalisierte Häufigkeit, diskutiert.

Vergleich Ergebnis der Entscheidung: Normalisierte Häufigkeit

Nachfolgend wird mithilfe der Auswertungsmethode 2 detaillierter auf die Auswahl der einzelnen Häuser eingegangen. Aufgrund dieser Analyse sollten die Überlegungen der Teilnehmenden, welche zu ihren Entscheidungen geführt haben, besser verständlich sein. Da es keine vergleichbaren Studien gibt, war es nicht möglich diese Analyse mit der bestehenden Literatur zu vergleichen. Anhand dieser Untersuchung konnte ich aber wichtige Hinweise für den Prozess der Entscheidungsfindung sammeln. Dieses Unterkapitel dient somit als Baustein für die Diskussion von Forschungsfrage 3.

Für die detaillierte Diskussion der normalisierten Häufigkeit wird im Folgenden noch einmal die Graphik aus den Resultaten dargestellt (vgl. Abbildung 39).

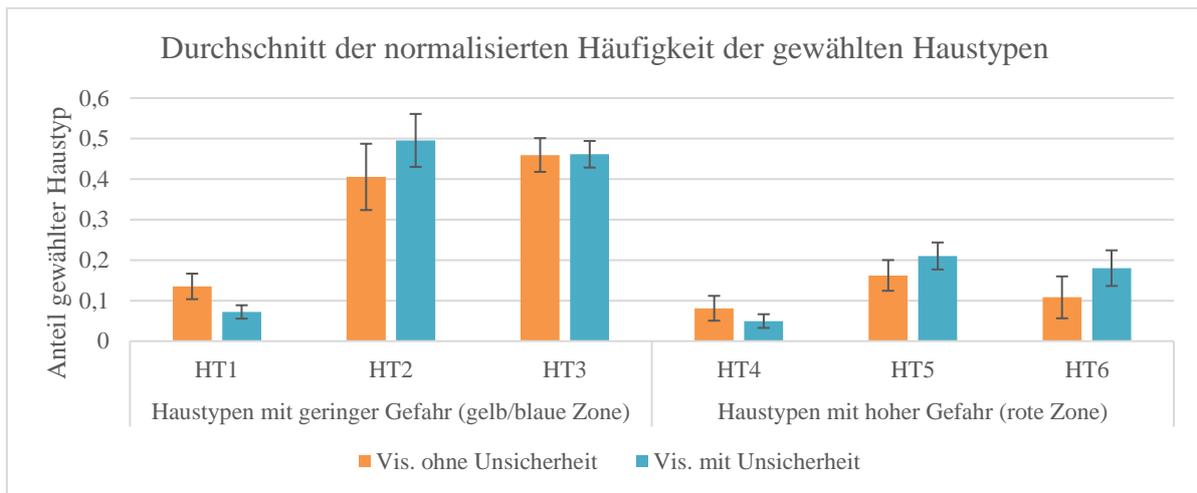


Abbildung 62: Durchschnitt der normalisierten Häufigkeiten der gewählten Haustypen. HT = Haustyp (Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Als Erinnerung: Die ersten drei Haustypen (Haustyp 1, 2, und 3), welche einer geringeren Gefahr ausgesetzt sind, befinden sich in der gelben oder in der blauen Zone. Häuser mit erhöhter Gefahr liegen in der roten Zone (Haustypen 4, 5, und 6). Die Y-Achse stellt den Anteil, mit dem ein Haustyp gewählt wurde, dar.

Aus Abbildung 62 ist ein Muster bezüglich der bevorzugten Haustypen deutlich erkennbar. Zum einem scheinen die Haustypen 1 und 4 sehr unbeliebt zu sein. Da beide Haustypen die Eigenschaft «schlechte» Lage gemeinsam haben vermute ich, dass bei den Teilnehmenden dies ein Grund war, ein Haus nicht zu wählen. Zu bemerken ist, dass diese Häuser bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit etwas unbeliebter waren als bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit.

Am beliebtesten waren hingegen die Haustypen 2 und 3. Diese Haustypen sind einer «geringen» Gefahr ausgesetzt und liegen an einer «mittleren» bis «guten» Lage. Das einzige, was die beiden Haustypen unterscheidet, ist der Preis: Haustyp 2 hat einen «tiefen» bis «mittleren» Preis, der Preis für Haustyp 3 hingegen ist «hoch». Da die Haustypen 2 und 3 fast gleich oft gewählt wurden, scheint der Preis keine gewichtige Rolle gespielt zu haben. Die Kombination «geringe» Gefahr und «mittel» bis «gute» Lage scheint dagegen ausschlaggebend gewesen zu sein, um ein Haus zu wählen. Man kann ausserdem feststellen, dass Haustyp 2 vor allem bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit beliebt war.

Auch die Haustypen 5 und 6 wurden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger gewählt. Die Haustypen 5 und 6 liegen an einer «mittleren» bis «guten» Lage und befinden sich in der roten Gefahrenzone. Der Preis für Haustyp 5 ist «tief» bis «mittel» und für Haustyp 6 «hoch». Da beide Haustypen etwa gleich oft gewählt wurden, scheint der Preis erneut keine entscheidende Rolle gespielt zu haben. Des Weiteren sind die Eigenschaften Preis und Lage von Haustyp 5 und 6 die gleichen wie für Haustyp 2 und 3. Ein Grund dafür, dass Haustyp 5 und 6 weniger oft gewählt wurden im Vergleich zu Haustyp 2 und 3, könnte die erhöhte Gefahr sein. Die war aber bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit weniger problematisch als bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit.

Aufgrund dieser Erkenntnisse vermute ich, dass wenn die Unsicherheit visualisiert wird, eine «mittlere» bis «gute» Lage wichtiger ist, als eine «tiefe» Gefahr. Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit sind die Entscheidungstragenden nicht bereit auf ein Haus mit «mittlerer» bis «guter» Lage zu verzichten, auch wenn dieses in der roten Gefahrenzone liegt. Bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit hingegen scheinen die Teilnehmenden Häuser in der gelben oder der blauen Gefahrenzone zu bevorzugen und wählen somit auch Häuser an einer «schlechten» Lage (z.B. Haustyp 1). Eine tiefe Gefahr war somit wichtiger als eine «mittlere» bis «gute» Lage. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit weniger häufig ein Haus an «schlechter» Lage gewählt haben im Vergleich zu den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit.

Wie am Anfang dieses Unterkapitels erwähnt, habe ich durch diese genaue Analyse wichtige Hinweise für die Untersuchung des Entscheidungsprozesses, welcher in Forschungsfrage 3 diskutiert wird, sammeln können. Zum einen scheint sich die Wichtigkeit der Faktoren Lage und Gefahr zwischen den zwei Bedingungen verändert zu haben. Bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit ist die Gefahr der wichtigste Faktor, bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit hingegen ist die Lage als wichtiger empfunden worden. Des Weiteren konnte ich feststellen, dass der Preis bei den Entscheidungen keine ausschlaggebende Rolle gespielt hat. In der Tat haben die Teilnehmenden bei den Schlussfragen den Preis als unwichtigsten Faktor eingestuft. Ein möglicher Grund für diesen Effekt wird in Kapitel 5.5 ermittelt.

Vergleich Ergebnis der Entscheidung risikoscheue und risikofreudige Gruppe

Neben der Analyse des eigentlichen Ergebnisses der Entscheidung wurden in dieser Arbeit auch die spezifischen Eigenschaften der Teilnehmenden untersucht. Dabei wurde unter anderem analysiert, welchen Einfluss die Risikoeinstellung auf das Ergebnis der Entscheidung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit hat. Um die Risikoeinstellung zu messen, mussten die Teilnehmenden vor dem Hauptexperiment einen Vortest nach Holt & Laury (2002) lösen. Für eine genaue Beschreibung des Tests siehe Kapitel 3.4.2. Die Aufteilung der zwei Gruppen wurde in Kapitel 4.2.84.2.8 beschrieben. Die Risikoeinstellung wurde gemessen, weil bei der Aufgabe im Hauptexperiment das Risiko einer Naturkatastrophe eingeschätzt werden musste. Die Risikoeinstellung einer Person könnte deshalb einen ausschlaggebenden Einfluss auf deren Entscheidung gehabt haben. Um die Resultate zu untersuchen wurde ein Vergleich innerhalb der beiden Gruppen separat durchgeführt. Die Analyse wurde mithilfe der

Auswertungsmethode 1, die Punktzahl, durchgeführt. Die Resultate bezüglich dieser Analyse sind in Kapitel 4.2.8 ersichtlich.

Die risikoscheuen Teilnehmenden haben bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit etwa die selbe durchschnittliche Punktzahl erreicht. Die risikoscheue Gruppe hat also anhand beider Informationsgrundlagen Häuser mit ähnlichen Eigenschaften gewählt. Der Unterschied der durchschnittlichen Punktzahl ist deshalb nicht signifikant. Ich schliesse daraus, dass sich die risikoscheue Gruppe bezüglich dem Ergebnis der Entscheidung nicht von der An- oder der Abwesenheit der Unsicherheit beeinflussen liess.

Bei den risikofreudigen Teilnehmenden ist die Punktzahl zwischen den Bedingungen deutlich grösser. Einen statisch signifikanten Unterschied konnte nur knapp nicht festgestellt werden. Dies lässt erahnen, dass sich bei der risikofreudigen Gruppe das Ergebnis einer Entscheidung zwischen den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit möglicherweise unterscheidet. Dabei haben die risikofreudigen Testpersonen bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit eine deutlich höhere mittlere Punktzahl erreicht als bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit. Dies bedeutet, dass die risikofreudigen Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit öfters Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben.

Aufgrund dieses Resultats vermute ich, dass die risikofreudigen Entscheidungstragenden sich eher von der Darstellung der Unsicherheit beeinflussen liessen als die risikoscheuen Teilnehmenden. Die risikofreudigen Teilnehmenden konnten mittels die Unsicherheit ihre Risikoeinstellung zum Ausdruck bringen. Somit dürfte man einen Unterschied zwischen den zwei Gruppen bei den Entscheidungen ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit erwarten. Dies konnte jedoch in meiner Studie nicht festgestellt werden (siehe Kapitel 4.2.8). Ich vermute, dass wenn die Probandengruppe grösser gewesen wäre und die Teilnehmenden mehr Karten gesehen hätten, ein Unterschied erkennbar gewesen wäre.

Um eine mögliche Erklärung zu nennen, warum sich die risikofreudigen Probanden eher von der Visualisierung der Unsicherheit beeinflussen liessen, muss nochmals auf die Definition von risikoscheu und risikofreudig eingegangen werden. Wie in Kapitel 3.4.2 erläutert, empfindet eine risikoscheue Person bei einer riskanten Entscheidung den möglichen Verlust als schwerwiegender im Vergleich zum möglichen Gewinn⁴. Deshalb wählen diese Personen immer die sichere Variante. Bei risikofreudigen Menschen ist das Gegenteil zu beobachten. Der mögliche Gewinn wird stärker gewichtet als der mögliche Verlust⁴, weshalb diese Personen immer die riskantere Variante wählen, welche aber auch den höchstmöglichen Gewinn aufzeigt.

Aus diesen Definitionen könnte ein möglicher Grund für die verschiedenen Ergebnisse der Entscheidung ermittelt werden. Die risikoscheuen Teilnehmenden haben bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit die gleichen Häuser gewählt, weil sie in keinem Fall ein grösseres Risiko eingehen wollten. Die risikofreudigen Teilnehmenden haben hingegen durch die Visualisierung der Unsicherheit den Gewinn bei gewissen Häusern in der roten Gefahrenzone höher eingeschätzt als der mögliche Verlust, der durch eine

Naturkatastrophe bedingt würde. Nur durch die Visualisierung der Unsicherheit konnten diese Teilnehmenden ihre Risikofreude zum Ausdruck bringen.

Meines Wissens gibt es keine Studien, die den Zusammenhang zwischen Entscheidungen unter Unsicherheit in einem geographischen Kontext und die Risikoeinstellung untersuchen. Im wirtschaftswissenschaftlichen Bereich gibt es hingegen Erkenntnisse, welche zeigen, dass die Risikoeinstellung zu verschiedenen Entscheidungen führen kann, z.B. ob man eine Mikroversicherung zum Schutz vor Wetterrisiken abschliesst oder nicht (Xu et al., 2008; Kübler, 2014). Diesbezüglich hat Kübler (2014) herausgefunden, dass risikoaverse Menschen weniger Interesse an einer Mikroversicherung haben als risikofreudige Personen, weil sie dem Konzept der Mikroversicherung nicht vertrauen. Die Unsicherheit, ob sie ihr Geld in einem Notfall tatsächlich bekommen, leitet die risikoscheuen Personen dazu die Mikroversicherung abzulehnen. Auch bei Investitionen kann die Risikoeinstellung relevant sein. Risikoaverse Personen weisen z.B. eine Investition mit unsicheren Rückflüssen zurück, weil ihre Risikoprämie nicht abgedeckt ist (Isik & Khanna, 2003).

Aufgrund des Vergleiches meiner Resultate mit jenen aus der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung vermute ich, dass nicht nur in einem wirtschaftlichen Kontext die Risikoeinstellung einen Einfluss auf Entscheidungen haben kann. Auch in einem geographischen Kontext muss diese Eigenschaft des Entscheidungstragenden berücksichtigt werden.

Dass die Fähigkeiten und Eigenschaften des Entscheidungstragenden einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung im geographischen Kontext haben können, wurde auch bei Hope & Hunter (2007b) und Roth (2009a) festgestellt. In ihren Studien haben die Autoren herausgefunden, dass bei Entscheidungen ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit die Erfahrung einen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Neben der Erfahrung würde ich aufgrund meiner Resultate auch die Risikoeinstellung als mögliche Eigenschaft einstufen, welche einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung unter Unsicherheit haben könnte.

Aufgrund dieser Erkenntnisse vermute ich, dass, um komplexe Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit besser verstehen zu können, nicht nur die Art der Visualisierung berücksichtigt werden muss, sondern auch die spezifischen Eigenschaften der Entscheidungstragenden, wie z.B. die Risikoeinstellung oder die Erfahrung. Falls man die Unsicherheit auf einer Karte visualisieren möchte, muss man sich deshalb fragen, wer die Endnutzenden der Karten sind. In Abhängigkeit der Antwort kann man sich überlegen, ob die Visualisierung der Unsicherheit überhaupt sinnvoll ist und wenn ja, wie diese visualisiert werden soll.

Um dieses Unterkapitel zusammenzufassen, halte ich fest, dass sich die risikofreudigen Teilnehmenden durch die Visualisierung der Unsicherheit zu anderen Entscheidungen verleiten liessen. Die risikoscheuen Teilnehmenden hingegen wurden von der Visualisierung der Unsicherheit bei ihrer Entscheidung nicht beeinflusst. Somit kann ich schliessen, dass neben der Erfahrung auch die Risikoeinstellung einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit haben kann.

Vergleich Ergebnis der Entscheidung tiefe und hohe räumliche Denkfähigkeiten

Eine weitere Eigenschaft der Teilnehmenden, welche in dieser Studie untersucht wurde, ist die räumliche Denkfähigkeit. Die räumlichen Fähigkeiten wurden mit einem Vortest nach Münzer & Hölscher (2011) gemessen. Die Teilnehmenden wurden aufgrund ihrer Resultaten in zwei Gruppen aufgeteilt: Tiefe und hohe räumliche Denkfähigkeiten. Für die Aufteilung der Gruppen und die Resultate siehe Kapitel 4.2.9.

Einen Unterschied des Ergebnisses der Entscheidung zwischen der Gruppe mit tiefen und der Gruppe mit hohen räumlichen Denkfähigkeiten konnte nicht festgestellt werden. Beide Gruppen haben sich bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit und bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit in etwa für die gleichen Häuser entschieden.

Anhand dieser Resultate stelle ich die Vermutung auf, dass beide Gruppen die Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit gleichwertig interpretiert haben. Aufgrund der durchgeführten Aufgabe war dieses Resultat zu erwarten. Die räumlichen Denkfähigkeiten sind vor allem bei Navigations- und Orientierungsaufgaben von grosser Wichtigkeit (Münzer & Hölscher, 2011). Bei meiner Studie mussten die Teilnehmenden keine Navigations- und Orientierungsaufgabe lösen und das Kartenlesen war nur einen Teil der Studie. Diesbezüglich mussten die Probanden auch die Informationen zur Lage und zum Preis verarbeiten. Ich vermute deshalb, dass die räumlichen Denkfähigkeiten nur gering ins Gewicht gefallen sind.

Hierbei ist es auch wichtig festzuhalten, dass die Gruppe mit höheren räumlichen Fähigkeiten keinen Vorteil bei der Interpretation der Karten hatte, was bedeutet, dass auch Personen mit tieferen räumlichen Fähigkeiten ebenfalls in der Lage sind, Karten mit verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit zu interpretieren.

5.2.2. Vergleich Indikator 2: Benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung zwischen Karten ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit

Bisher habe ich mich bei der Diskussion der Forschungsfrage 1 auf den ersten Indikator der Entscheidungsleistung fokussiert: Das Ergebnis der Entscheidung. Im Folgenden Unterkapitel möchte ich näher auf den zweiten Indikator der Entscheidungsleistung eingehen: Die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung.

Die Resultate der Zeitanalyse in Kapitel 0 zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Dauer einer Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit und einer Entscheidung ohne Visualisierung der Unsicherheit gibt. Die Teilnehmenden waren also bei den Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit zeitlich gleich effizient. Meiner Meinung nach könnte dies darauf hindeuten, dass die Visualisierung der Unsicherheit die Entscheidungstragenden nicht massgeblich beeinflusst hat. Die Teilnehmenden brauchten bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit nicht mehr Zeit um zu verstehen, was dargestellt wurde.

Diese Erkenntnis scheint die der bestehenden Forschung zu bestätigen. Wie im Forschungskontext schon erläutert, haben Leitner & Buttenfield (2000) keinen zeitlichen Unterschied zwischen der benötigten

Zeit einer einfachen Entscheidung mit Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und Karten mit Visualisierung der Unsicherheit gefunden. Andre & Cutler (1998) haben sogar festgestellt, dass mit der Visualisierung der Unsicherheit eine einfache Entscheidung schneller getroffen wird. Dies konnte in meiner Studie nicht festgestellt werden. Wie in diesem Kapitel schon erwähnt, lässt sich aufgrund der Aufgabenstellung auch in diesem Fall die Studie von Riveiro et al. (2014) am besten mit meiner Studie vergleichen. Riveiro et al. (2014) haben herausgefunden, dass es bei einer komplexeren Entscheidung keinen Unterschied in der benötigten Zeit gibt. Somit entsprechen meine Resultate denjenigen von Riveiro et al. (2014).

Die Aussage von Cliburn et al. (2002) (siehe Kapitel 2.3), dass der Entscheidungstragende zu wenig Zeit hat, um die visualisierte Unsicherheit zu erkunden und gründlich zu verstehen, kann mit meiner Studie nicht bestätigt werden. Die Probanden meiner Studie hatten keine Zeitlimite bei der Lösung ihrer Aufgabe, d.h. sie konnten so viel Zeit benötigen, wie sie wollten. Da es keinen signifikanten Unterschied zwischen der benötigten Zeit für die Entscheidungsfindung bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit gibt, vermute ich, dass die Teilnehmenden nicht länger für das Verständnis der Visualisierung der Unsicherheit brauchten. Auch die Befürchtung von gewissen Experten, dass die Interpretation der Visualisierung der Unsicherheit zu viel Zeit benötige (Kinkeldey et al., 2015; siehe auch Kapitel 2.3), kann anhand meiner Resultate nicht bestätigt werden.

Durch das Ergebnis meiner Arbeit kann eine weitere Erkenntnis der bestehenden Literatur bestätigt werden. Leitner & Buttenfield (2000) und Aerts et al. (2003) haben festgestellt, dass Unsicherheit bei einfachen Entscheidungsaufgaben nicht als zusätzliche Komplexität angesehen wird, sondern als Verdeutlichung der Daten. Aufgrund zweier Erkenntnisse meiner Studie kann ich diese Aussage auch für komplexere Entscheidungen bestätigen. Zum einen wird die Aussage durch die Tatsache bestärkt, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit nicht signifikant länger für ihre Entscheidung gebraucht haben als bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit. Zum anderen wird diese Aussage durch verschiedenen Kommentare der Teilnehmenden in den Schlussfragen unterstützt. Bei der Frage, wie sie die verschiedenen Visualisierungen interpretiert haben, haben einige Teilnehmende notiert, dass die «Übergangszonen informativ waren» und dass sie als «Entscheidungshilfe» dienen.

Abschliessend halte ich fest, dass die Teilnehmenden meiner Studie zeitlich gleich effizient bei den Entscheidungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit waren. Dies deutet darauf hin, dass die Visualisierung der Unsicherheit die Entscheidungstragenden nicht verwirrt hat. Des Weiteren halte ich fest, dass die Visualisierung der Unsicherheit eher als Entscheidungshilfe angesehen wurde, denn als eine zusätzliche Komplexität. Ich bin deshalb der Meinung, dass Unsicherheit generell kommuniziert werden soll, weil es den Entscheidungstragenden bei seiner Entscheidung nicht beeinträchtigt, sondern von Nutzen sein kann. Dank der Darstellung der Unsicherheit kann der oder die Entscheidungstragende eine Informierte Entscheidung treffen.

Um meine Erkenntnisse der Forschungsfrage 1 zusammenzufassen halte ich fest, dass der Einfluss auf die Entscheidungsleistung mit Visualisierung der Unsicherheit sehr wahrscheinlich ist. Bezüglich dem ersten Indikator der Entscheidungsleistung, das Ergebnis der Entscheidung, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit festgestellt werden. Nichtsdestotrotz vermute ich, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben. Dies lässt erahnen, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit sich die Wahrnehmung des Risikos verändert hat. Des Weiteren konnte ich feststellen, dass auch die Eigenschaft «Risikoeinstellung» der Teilnehmenden einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung haben kann. In der Tat wurden die risikofreudigen Probanden bei ihrer Entscheidung stärker von der Visualisierung der Unsicherheit beeinflusst als die risikoscheuen Teilnehmenden. Auch bezüglich dem zweiten Indikator, die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung, wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Teilnehmenden haben für ihre Entscheidung gleich lange mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit gebraucht. Dies lässt mich vermuten, dass die Visualisierung der Unsicherheit nicht als Hindernis bei der Interpretation der Karte wahrgenommen wurde.

5.3. Forschungsfrage 2: Unterscheidet sich die Leistung einer komplexen Entscheidung zwischen verschiedenen Visualisierungsarten der Unsicherheit von räumlichen Daten auf einer Karte?

Das Ziel dieser Forschungsfrage ist es herauszufinden, ob durch verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit sich die Leistung einer komplexen Entscheidung verändert. Die Diskussion dieser Frage sollte Hinweise dazu geben, wie gut die Entscheidungstragenden die verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit interpretiert haben. Somit sollte es möglich sein festzustellen, welche Art der Darstellung sich am besten für die Visualisierung von Unsicherheit in Gefahrenkarten im Zusammenhang mit komplexen Entscheidungen eignet. Wie schon bei Forschungsfrage 1 wird die Leistung der Entscheidung mittels zwei Indikatoren gemessen: Das Ergebnis der Entscheidung und die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung. Um diese Forschungsfrage zu beantworten wurden die Resultate der zwei Indikatoren zwischen den verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit verglichen. Für die Analyse des Ergebnisses wurden wieder beide Auswertungsmethoden verwendet (für eine genauere Beschreibung der Klassifikation und der Auswertungsmethoden siehe Kapitel 4.2.1 und 4.2.2).

Die Diskussion ist folgendermassen aufgebaut: Zuerst wird darauf eingegangen wie intuitiv die verschiedenen Darstellungen für die Visualisierung der Unsicherheit sind. Anschliessend wird der erste Indikator der Entscheidungsleistung untersucht. Zum Schluss wird der zweite Indikator der Entscheidungsleistung, die benötigte Zeit, diskutiert.

5.3.1. Verständnis der Darstellungen

Bevor die Ergebnisse der Entscheidung diskutiert werden, ist es wichtig zu verstehen, wie die Teilnehmenden die verschiedenen Visualisierungen interpretiert haben. Wie in Kapitel 5.1 aufgezeigt,

haben die meisten Teilnehmenden verstanden, dass die verschiedenen Darstellungen der Gefahrenzone Unsicherheit visualisieren. Im Folgenden wird genauer auf das Verständnis der einzelnen Darstellungen Farbhelligkeit, Verschwommenheit und Textur eingegangen.

Dass die gewählten Visualisierungen der Unsicherheit als intuitiv empfunden worden sind, entspricht den Erkenntnissen der bestehenden Literatur. Schon 1992 war MacEachren (1992) der Meinung, dass Farbhelligkeit und Verschwommenheit (von dem Autor als «Bildschärfe» bezeichnet) für die Darstellung von Unsicherheit besonders geeignet sind. Einige Jahre später haben MacEachren et al. (2012) empirisch herausgefunden, dass Farbhelligkeit und Verschwommenheit die intuitivsten graphischen Variablen für die Visualisierung der Unsicherheit sind.

MacEachren et al. (2012) haben diese zwei graphischen Variablen aber nicht in einer Karte oder in Zusammenhang mit einer Entscheidung getestet. Sie haben in ihrer Studie die Teilnehmenden lediglich gefragt, wie intuitiv sie die Darstellungen für die Visualisierung der Unsicherheit finden (siehe dazu Kapitel 2.4.1). Meine Resultate lassen erahnen, dass die Farbhelligkeit und die Verschwommenheit auch in einer Karte im Zusammenhang mit einer komplexen Entscheidung intuitiv für die Visualisierung der Unsicherheit sind.

Boukhelifa et al. (2012) haben bei ihrer Studie Farbhelligkeit und Verschwommenheit (in ihrer Studie «Unschärfe» genannt) für die Visualisierung der Unsicherheit einer Linie eingesetzt. Dabei haben die Autoren herausgefunden, dass mit der Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit und Farbhelligkeit die Teilnehmenden am meisten Unsicherheitsklassen unterscheiden konnten. Auch bezüglich der Präferenzen haben die Teilnehmenden der Studie von Boukhelifa et al. (2012) die Verschwommenheit und die Farbhelligkeit als beliebt eingestuft. Dass die Visualisierung mit Farbhelligkeit für die Darstellung von Unsicherheit geeignet ist, können auch Leitner & Buttenfield (2000) bestätigen. In ihrer Studie, die in Kapitel 2.6.1 genauer erläutert wurde, haben die Autoren herausgefunden, dass bei der Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit die höchste Anzahl an korrekten Antworten erreicht wurde. Aufgrund meiner Resultate, denen von Leitner & Buttenfield (2000) sowie denen von Boukhelifa et al. (2012) halte ich fest, dass die Visualisierung durch Farbhelligkeit und Verschwommenheit nicht nur intuitiv ist, sondern auch zu einer korrekten Interpretation führt.

Was die Textur angeht, habe ich sie miteinbezogen, weil Trau & Hurni (2007) und Pang (2008) den Gebrauch dieser Darstellung für die Visualisierung von Unsicherheit in Gefahrenkarten vorschlagen. Aufgrund dieses Vorschlags habe ich mich entschieden, die Textur für die Visualisierung der Unsicherheit in einer Gefahrenkarte zu testen. MacEachren et al. (2012) haben aber festgestellt, dass die Textur weniger intuitiv für die Darstellung von Unsicherheit ist als die Farbhelligkeit und die Verschwommenheit. Aus meinen Resultaten ist es schwierig eine abschliessende Aussage über die Textur zu machen, da sie in zwei verschiedene Richtungen gehen.

Wenn man sich einerseits die Resultate der Frage anschaut, welche Darstellung die Teilnehmenden am ehesten mit Unsicherheit verbinden würden, liegt die Textur auf dem zweiten Platz (siehe Kapitel 4.3.5). Es scheint, als ob die Teilnehmenden die Textur als relativ intuitive Darstellung der Unsicherheit

empfunden hätten. Auf der anderen Seite widerspricht dieses Ergebnis aber deutlich dem, was die Teilnehmenden mir nach der Studie mündlich mitgeteilt haben: Die Darstellung mit Farbhelligkeit hat viele Probanden stark verwirrt und somit die Interpretation der Informationen erschwert. Für diese Verwirrung konnte ich hauptsächlich zwei Gründe feststellen. Zum einem hat die Textur die Hintergrundkarte stark verdeckt. Die Probanden konnten somit die Informationen auf der Karte schlechter lesen. Des Weiteren entstehen durch diese Darstellung weisse Zonen. Gewisse Teilnehmende waren der Meinung, dass diese weissen Gebiete keiner der drei Gefahrenzonen zugewiesen waren. Aufgrund dieser Ergebnisse vermute ich, dass die Teilnehmenden die Textur intuitiv als Visualisierung der Unsicherheit empfunden haben, sie aber dann auf der Karte nicht richtig interpretieren konnten.

Mein Ziel war es, die Unsicherheit anhand der Breite und dem Abstand zwischen den Linien mitzuteilen. Dies scheint aber nicht immer gelungen zu sein. Die Art, wie aber die Textur in dieser Arbeit für die Visualisierung der Unsicherheit eingesetzt wurde, unterscheidet sich von der Weise, wie sie in der bestehenden Literatur angewendet wurde. MacEachren et al. (1998) und Retchless & Brewer (2016) haben in ihren Arbeiten die Textur visuell trennbar von einer weiteren graphischen Variable dargestellt (siehe Kapitel 2.4.2). In beiden Studien wurde die primäre Information mit Farbton dargestellt. Die Textur, welche die Unsicherheit visualisiert, wurde über der farbigen Fläche eingezeichnet (Beispiel Abbildung 11). MacEachren et al. (1998) sowie auch Retchless & Brewer (2016) haben herausgefunden, dass die Teilnehmenden diese visuell separate Darstellung gut interpretieren konnten.

In meiner Darstellung durch Textur war die Information bezüglich der Gefahrenzone und der Unsicherheit visuell nicht trennbar. Das Muster wurde direkt mit dem Farbton der dazugehörigen Gefahrenzonen eingefärbt. Dies könnte vielleicht ein Grund dafür sein, dass diese Visualisierung der Unsicherheit zu Verwirrungen geführt hat. Im Gegensatz zu MacEachren et al. (2012) und Retchless & Brewer (2016) konnte ich nicht feststellen, dass meine Variante der Textur bei allen Teilnehmenden leicht interpretierbar war.

Es ist schwierig eine abschliessende Beurteilung der Visualisierung der Unsicherheit durch die Textur zu machen. Ich vermute, dass sie intuitiv für die Darstellung der Unsicherheit sein könnte. Wie die Textur aber in dieser Arbeit eingesetzt wurde, war für die Entscheidungstragenden nicht leicht zu interpretieren. Es braucht auf jeden Fall weitere Forschungen in Bezug auf die Eignung der Textur für die Visualisierung der Unsicherheit in einer Karte. Die Resultate bezüglich der Visualisierung durch Verschwommenheit und Farbhelligkeit scheinen hingegen die Erkenntnis der bestehenden Literatur zu bestätigen. Ich halte deshalb fest, dass diese zwei graphischen Variablen für die Visualisierung von Unsicherheit geeignet und für den Kartennutzenden leicht interpretierbar sind.

5.3.2. Vergleich Indikator 1: Ergebnis der Entscheidung zwischen den drei Visualisierungsvarianten der Unsicherheit

Vergleich Ergebnis der Entscheidung mit Punktzahl zwischen den drei Visualisierungen der Unsicherheit

Nachdem analysiert wurde, wie intuitiv die drei Darstellungsvarianten für die Visualisierung der Unsicherheit sind, wird nun versucht die Forschungsfrage 2 zu beantworten. Dabei wird zuerst auf den Indikator «Ergebnis der Entscheidung» näher eingegangen. Um zu verstehen, ob die verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung haben, habe ich zuerst einen Vergleich der durchschnittlichen Punktzahl zwischen den drei Darstellungsarten durchgeführt.

Die Resultate der durchschnittlichen Punktzahl ergeben, dass die drei Mittelwerte der Darstellungen mit Unsicherheit sich sehr ähnlich sind (siehe Kapitel 4.2.4). Mit der Visualisierung durch Farbhelligkeit haben die Teilnehmenden die höchste durchschnittliche Punktzahl erreicht, bei der Darstellung mit Verschwommenheit die zweithöchste Punktzahl und die tiefste durchschnittliche Punktzahl mit der Darstellung durch Textur. Dieses Resultat lässt vermuten, dass mit der Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit die Teilnehmenden häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone und mit einer «mittleren» bis «guten» Lage gewählt haben. Da der Omnibus-Test aber keinen signifikanten Unterschied ergab, wurden die Punktzahlen der Darstellungen noch einzeln mit einem Post-hoc-Test verglichen.

Der Post-hoc-Test ergab, dass sich die durchschnittliche Punktzahl zwischen Farbhelligkeit und Textur statistisch signifikant unterscheidet. Dies bedeutet, dass die Entscheidungstragenden bei diesen zwei Darstellungen signifikant andere Entscheidungen getroffen haben. Da die durchschnittliche Punktzahl bei den Karten mit Textur tiefer ist, kann man vermuten, dass die Teilnehmenden in diesem Fall öfters Häuser gewählt haben, welche sich in einer Zone mit geringerer Gefahr befanden. Im Gegensatz dazu waren die Entscheidungen zwischen den Karten mit Farbhelligkeit und Verschwommenheit sehr ähnlich, weshalb der Unterschied nicht signifikant ist.

Als interessantes Ergebnis möchte ich hervorheben, dass die durchschnittliche Punktzahl mit Farbhelligkeit als einzige sich signifikant von der durchschnittlichen Punktzahl der Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit unterscheidet. Dies deutet darauf hin, dass die Visualisierung mit Farbhelligkeit den grössten Unterschied verursacht hat im Vergleich zur Bedingung ohne Visualisierung der Unsicherheit.

Diese Resultate zeigen, dass auch mit verschiedenen Darstellungen der Unsicherheit verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Dies haben auch Cheong et al. (2016) herausgefunden. Die Autoren haben festgestellt, dass mit verschiedenen Darstellungen und Bedingungen, sich die Richtigkeit einer Entscheidung signifikant unterscheiden kann. Auch Leitner & Buttenfield (2000) haben festgestellt, dass verschiedene Visualisierungen von Unsicherheit die Korrektheit einer Entscheidung beeinflussen können. Die Autoren haben festgestellt, dass mit Farbhelligkeit die Entscheidungstragenden besonders oft korrekte Entscheidungen getroffen haben. Man erkennt also, dass mit gewissen Visualisierungen der Unsicherheit die Entscheidungstragenden effizienter sind. In meiner Studie gab es keine richtige oder falsche Antwort.

Deshalb ist es schwierig, die Resultate mit der bestehenden Literatur direkt zu vergleichen. Aus meinen Resultaten schliesse ich aber, dass die verschiedenen Visualisierungen, die in meiner Studie eingesetzt wurden, unterschiedlich interpretiert wurden und deshalb zu verschiedenen Entscheidungen geführt haben.

Diese verschiedenen Interpretationen könnten dem besseren oder schlechteren Verständnis der Visualisierung zuzuweisen sein. Wie im vorherigen Unterkapitel gesehen, scheinen vor allem die Verschwommenheit und die Farbhelligkeit gut verständlich gewesen zu sein. Dass diese zwei graphischen Variablen ähnlich interpretiert wurden, wird durch die Tatsache bestätigt, dass die durchschnittliche Punktzahl sehr ähnlich ist. Wie schon erwähnt, hat die Darstellung mit Textur hingegen einige Teilnehmenden verwirrt. Dies könnte der Grund dafür sein, dass bei der Visualisierung mit Textur die Testpersonen andere Häuser gewählt haben und somit sich die durchschnittliche Punktzahl von der Visualisierung mit Farbhelligkeit unterscheidet. Da ich in Kapitel 5.3.1 erwähnte habe, dass die Visualisierung durch Textur nicht für alle Teilnehmenden leicht verständlich war, vermute ich, dass die Teilnehmenden bei diesen Karten kein Risiko eingehen wollten. Sie haben deshalb eher Häuser in der gelben oder in der blauen Gefahrenzone gewählt und somit eine tiefere durchschnittliche Punktzahl erreicht.

Zusammenfassend halte ich fest, dass verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit zu unterschiedlichen Ergebnissen der Entscheidung führen können. Ein möglicher Grund dafür könnte die unterschiedliche Verständlichkeit der Visualisierung der Unsicherheit sein, welche zu verschiedene Interpretationen führt und deshalb auch zu verschiedenen Entscheidungen.

Vergleich Ergebnis der Entscheidung mit normalisierter Häufigkeit zwischen den drei Visualisierungen der Unsicherheit

Im vorherigen Unterkapitel wurde der Indikator Ergebnis der Entscheidung mithilfe der Auswertungsmethode 1 untersucht. Im Folgenden werden die Resultate bezüglich dem Ergebnis der Entscheidung anhand der Auswertungsmethode 2 analysiert. Die normalisierte Häufigkeit erlaubt eine detailliertere Analyse der gewählten Haustypen zwischen den verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit. Um die Analyse einfacher zu gestalten, werden nochmals die Resultate gezeigt (vgl. Abbildung 40).

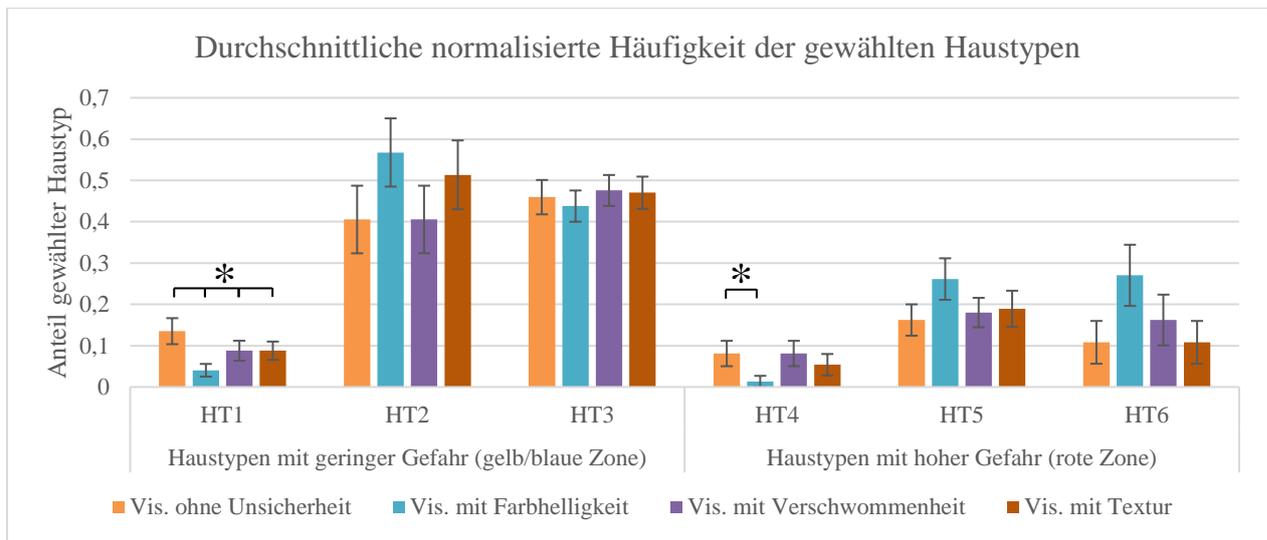


Abbildung 63: Durchschnittliche normalisierte Häufigkeit der gewählten Haustypen pro Visualisierung (HT = Haustyp, Mittelwert, ± 1 Standardfehler)

Das Muster der Beliebtheit der Häuser in Abbildung 63 widerspiegelt das von Abbildung 62. Wie in Forschungsfrage 1 bereits aufgezeigt, waren die Haustypen 1 und 4 die unbeliebtesten. Hier fällt auf, dass diese Haustypen vor allem bei den Karten mit Farbhelligkeit wenig beliebt waren. Tatsächlich ergab der Omnibus-Test über alle vier Darstellungen einen signifikanten Unterschied bei Haustyp 1 (siehe Kapitel 4.2.6). Haustyp 2 war vor allem bei den Darstellungen mit Farbhelligkeit und Textur beliebt, während Haustyp 3 rundum gleich oft gewählt wurde, auch wenn der Preis dieses Haustyps «hoch» ist. Bei Haustyp 5 und 6 erkennt man, dass sie vor allem bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit häufig gewählt wurden. Auch wenn dieser Unterschied nicht signifikant ist, lässt sich erahnen, dass die Teilnehmenden bei der Visualisierung mit Unsicherheit durch Farbhelligkeit häufiger ein Haus in der roten Gefahrenzone gewählt haben. Ich vermute, dass die Teilnehmenden bei dieser Visualisierung der Unsicherheit ein höheres Risiko eingegangen sind um ein Haus an einer «mittleren» bis «guten» Lage kaufen zu können.

Wenn man die Ergebnisse aus früheren Studien betrachtet, würde man eigentlich ein gegenteiliges Resultat erwarten. Hope & Hunter (2007a) haben festgestellt, dass bei Visualisierungen der Unsicherheit, die mit einer klaren Grenze zwischen den Zonen dargestellt werden, die Entscheidungstragenden weniger Risiko eingehen (siehe dazu Kapitel 2.6.1). Der Grund dafür ist, dass eine Linie zu überschreiten eine grosse Hürde darstellt (Hope & Hunter, 2007a). Im Gegensatz dazu sind die Entscheidungstragende bei den Darstellungen, in denen keine Linie ersichtlich ist, bereit mehr Risiko auf sich zu nehmen.

Anhand dieser Erkenntnis von Hope & Hunter (2007a) habe ich erwartet, dass auch bei meiner Studie ähnlich Resultate erkennbar sind. Bei der Darstellung der Unsicherheit mit Farbhelligkeit ist eine klare Linie zwischen den Zonen vorhanden, weshalb ich erwartet hätte, dass die Teilnehmenden bei diesen Darstellungen ein geringeres Risiko eingegangen sind. Da die Teilnehmenden bei dieser Darstellung am häufigsten Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben, wird diese Erwartung nicht erfüllt.

Bei der Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit hingegen ist keine klare Linie zwischen den Gefahrenzonen vorhanden. Die Grenze wird als fließende Übergangszone dargestellt. Nach Hope & Hunter (2007a) sollte dies die Teilnehmenden dazu leiten risikofreudigere Entscheidungen zu treffen. Auch in diesem Fall wird die Erwartung durch meine Resultate nicht bestätigt. Tatsächlich haben die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit durch Verschwommenheit eine tiefere durchschnittliche Punktzahl erreicht als bei den Karten mit Farbhelligkeit. Dies bedeutet, dass bei den Karten mit Verschwommenheit seltener Häuser in der höchsten Gefahrenzone gewählt wurden.

Ich vermute deshalb, dass in meiner Studie die kontinuierliche Darstellung der Unsicherheit durch Verschwommenheit die Teilnehmenden eher verunsichert hat. Die Probanden hatten Mühe die Gefahrenzonen zuzuteilen, was sie vielleicht zu etwas risikoscheueren Entscheidungen verleitet hat. Bei der diskreten Darstellung durch Farbhelligkeit war die Zuteilung der Gefahrenzonen eindeutiger, was die Teilnehmenden vielleicht dazu aufgefordert hat mehr Risiko einzugehen.

Zusammenfassend halte ich fest, dass sich das Ergebnis einer Entscheidung zwischen verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit unterscheiden kann. Diesbezüglich haben die Teilnehmenden vor allem bei den Karten mit Farbhelligkeit häufiger eine riskantere Entscheidung getroffen. Dies entspricht nicht den früheren Erkenntnissen aus der Literatur (Hope & Hunter, 2007a).

5.3.3. Vergleich Indikator 2: Benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung zwischen den drei Visualisierungsvarianten der Unsicherheit

Wie auch bereits bei Forschungsfrage 1, wird nun auf den zweiten Indikator der Entscheidungsleistung eingegangen: Die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung. In diesem Fall wird der Vergleich der benötigten Zeit zwischen den drei Darstellungen der Unsicherheit durchgeführt. Somit kann man herausfinden, welche Darstellung der Unsicherheit zeitlich am effizientesten war. Zu diesem Zweck habe ich die Zeit, die die Teilnehmenden für ihre Entscheidung benötigt haben, zwischen den verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit verglichen (siehe Kapitel 0).

Die statistische Analyse ergab, dass die Verteilungen der durchschnittlichen Zeit zwischen der Darstellung mit Farbhelligkeit und der Darstellung mit Verschwommenheit sich signifikant unterscheiden. Um den Grund dieses Unterschieds zu verstehen, wurden die Daten des Eye Trackers analysiert. Das Beispiel, welches im Folgenden besprochen wird, soll aufzeigen, wie wichtig die Analyse der Augenbewegungen für das Verständnis des Prozesses der Entscheidungsfindung unter Unsicherheit sein kann.

Für die Analyse der Augenbewegungen wurden die gezeigten Karten in fünf verschiedene Zonen eingeteilt (vgl. Abbildung 56): Beschreibung der Häuser, Gefahrenzone, Grenze, Legende und Antwort. Für jede Visualisierung wurde berechnet, wie lange die Teilnehmenden die verschiedenen Zonen fixiert haben (siehe auch Kapitel 0). Somit kann man untersuchen, wo der Zeitunterschied für die Entscheidung zwischen den zwei Darstellungen entstanden ist. Dabei habe ich herausgefunden, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Verschwommenheit signifikant länger die Grenze, die Antwort und die Legende fixiert

haben. Bei der totalen Fixierungsdauer der Gefahrenzonen und der Beschreibung hingegen gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Darstellungen.

Besonders die Tatsache, dass die Probanden bei der Darstellung mit Verschwommenheit länger auf die Grenze geschaut haben, scheint die Ursache für die längere Entscheidungsfindung zu sein. Tatsächlich haben die Probanden bei der Darstellung mit Verschwommenheit im Mittel mehr als zehn Sekunden länger die Grenze fixiert als bei der Visualisierung mit Farbhelligkeit. Daraus lässt sich erahnen, dass die Teilnehmenden bei der Darstellung mit Verschwommenheit etwas länger brauchten, um die Grenzen zu interpretieren.

Wie im vorherigen Unterkapitel erwähnt vermute ich, dass die Verschwommenheit aufgrund ihrer fließenden Darstellung die Testpersonen verunsichert hat. Die Teilnehmenden mussten selber einschätzen, zu welcher Gefahrenzone ein Haus gehört. Es ist naheliegend, dass diese Einschätzung mehr Zeit erfordert. Diese Erkenntnis lässt sich mit dem Ergebnis der Entscheidung aus dem vorherigen Unterkapitel verbinden. Da die Einschätzung der Gefahrenzone bei den Karten mit Verschwommenheit kognitiv anspruchsvoll ist und deshalb manche Probanden Mühe hatten diese Visualisierung zu verstehen, vermute ich, dass die Probanden kein grösseres Risiko eingehen wollten und somit, im Vergleich zur Darstellung mit Farbhelligkeit, seltener Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben. Bei der Visualisierung mit Farbhelligkeit sind hingegen die Gefahrenzonen mit einer Linie unterteilt. Es ist somit offensichtlicher, zu welcher Gefahrenzone ein Haus gehört. Die Testperson kann deshalb ihre Entscheidung deutlich schneller treffen.

Ich halte somit fest, dass die Entscheidung zeitlich am effizientesten mit der Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit ist. Bei der Darstellung der Unsicherheit mit Verschwommenheit haben die Teilnehmenden am längsten für ihre Entscheidung gebraucht. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Verschwommenheit eine kontinuierliche Darstellung ist und die Interpretation deshalb etwas länger dauert.

Um die Forschungsfrage 2 zusammenfassend zu beantworten halte ich fest, dass unterschiedliche Visualisierungen der Unsicherheit die Entscheidungsleistung verändern können. Zum einen konnte ich beobachten, dass sich das Ergebnis einer Entscheidung durch verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit unterscheidet. Ein möglicher Grund dafür könnte die Verständlichkeit der unterschiedlichen Visualisierungen sein. Die graphischen Variablen Farbhelligkeit und Verschwommenheit scheinen intuitiver für die Visualisierung der Unsicherheit zu sein. Die Textur hingegen war bei gewissen Teilnehmenden etwas verwirrend. Diese Unterschiede in der Verständlichkeit könnten zu verschiedenen Interpretationen und somit zu verschiedenen Entscheidungen führen. Auch bezüglich dem zweiten Indikator der Entscheidungsleistung konnten gewisse Unterschiede festgestellt werden. Die Teilnehmenden haben bei den Karten mit Verschwommenheit signifikant länger für die Entscheidungsfindung gebraucht als bei den Karten mit Farbhelligkeit. Ich vermute, dass durch die fließende Darstellung der Verschwommenheit die Probanden länger für ihre Entscheidung gebraucht haben.

Abschliessend würde ich davon abraten, meine Variante der Visualisierung der Unsicherheit mit Textur anzuwenden. Die Verschwommenheit scheint gut verständlich zu sein, der Entscheidungstragende benötigt aber lange für die Entscheidungsfindung. Diese Darstellung ist deshalb nur geeignet, wenn kein Zeitdruck vorhanden ist. Die Darstellung mit Farbhelligkeit scheint mir geeignet für die Visualisierung der Unsicherheit zu sein: Sie war zeitlich die effizienteste und die Teilnehmenden haben sie als intuitivste eingestuft. Bei dieser Darstellung muss aber beachtet werden, dass die Teilnehmenden das höchste Risiko eingegangen sind

5.4. Forschungsfrage 3: Wie verläuft der Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit?

Das Ziel dieser Forschungsfrage ist es zu verstehen, wie der Prozess der Entscheidungsfindung mithilfe einer Karte mit Visualisierung der Unsicherheit abläuft. Ich möchte damit eine Begründung für die Resultate der Forschungsfragen 1 und 2 finden. Diese Forschungsfrage sollte neue Erkenntnisse darüber geben, wie die Teilnehmenden ihre Entscheidung mithilfe einer Karte mit Visualisierung der Unsicherheit getroffen haben.

5.4.1. Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf die Attraktivität eines Hauses

Wie bei Forschungsfrage 1 und 2 erläutert, habe ich festgestellt, dass bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit die Teilnehmenden andere Entscheidungen getroffen haben als bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit. Somit vermute ich, dass der Prozess der Entscheidungsfindung sich durch die Visualisierung der Unsicherheit verändert hat. Im Folgenden versuche ich eine Erklärung für dieses Verhalten zu ermitteln.

Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit habe ich festgestellt, dass die Teilnehmenden häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben. Dies lässt erahnen, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit Häuser in der roten Gefahrenzone attraktiver geworden sind. Eine mögliche Erklärung für diese erhöhte Attraktivität könnte die Tatsache sein, dass wenn die Häuser sich in einer roten, unsicheren Gefahrenzone befinden, das Risiko einer Naturkatastrophe abnimmt, weil die rote Gefahrenzone dem höchsten Risiko ausgesetzt ist.

Das Gegenteil gilt für die Häuser, welche in einer der anderen Gefahrenzone liegen. Wenn ein Haus in einer unsicheren, gelben Gefahrenzone liegt, dann erhöht sich das Risiko einer Naturgefahr, weil die gelbe Gefahrenzone die niedrigste ist. Ein Haus in der gelben, unsicheren Zone verliert deshalb womöglich an Attraktivität. Bei einem Haus in einer unsicheren, blauen Gefahrenzone kann hingegen der Effekt auf die Attraktivität positiv oder negativ sein. Falls die Unsicherheit in Richtung der roten Gefahrenzone geht, dann nimmt die Gefahr in der unsicheren, blauen Zone zu. Im Gegensatz dazu, wenn die Unsicherheit in Richtung der gelben Zone tendiert, nimmt die Gefahr in der unsicheren, blauen Zone ab. Die Visualisierung der Unsicherheit kann für die Häuser in der blauen Gefahrenzone sowohl einen positiven wie auch einen negativen Effekt auf die Attraktivität haben.

Aus diesen Überlegungen schliesse ich, dass die Position der Häuser innerhalb der Gefahrenzonen möglicherweise die Entscheidung beeinflusst hat. Nach meinen Annahmen sollte ein Haus in der roten, unsicheren Zone beliebter sein als ein Haus in der roten, sicheren Gefahrenzone. Für Häuser in der gelben Zone gilt hingegen das Gegenteil.

Um diese Vermutung zu testen habe ich unabhängig von der Gefahrenzone zuerst untersucht, wie oft die Teilnehmenden ein Haus aus einer sicheren oder einer unsicheren Zone gewählt haben. Es wurden alle gewählten Häuser in zwei Gruppen aufgeteilt: Sichere Gefahrenzone und unsichere Gefahrenzone. Anschliessend wurde einen Vergleich zwischen den beiden Gruppen durchgeführt. Die Resultate dazu sind in Kapitel 4.2.7 aufgezeigt. Es hat sich gezeigt, dass sich die Teilnehmenden signifikant öfter für ein Haus in der unsicheren Zone entschieden haben, unabhängig von der Gefahrenstufe oder den anderen Eigenschaften der Häuser. Dieses Resultat gilt für alle drei Visualisierungsarten der Unsicherheit.

Um dieses Resultat genauer zu analysieren, wurden die Häuser nach ihrer Gefahr aufgeteilt: Häuser mit hoher Gefahr (rote Gefahrenzone) und Häuser mit tiefer Gefahr (gelbe und blaue Gefahrenzone). In diesem Fall wurde für jede Gefahrengruppen separat untersucht, wie häufig ein Haus aus einer sicheren oder aus einer unsicheren Zone ausgewählt wurde. Wie eben erwähnt, hätte ich aufgrund des möglichen positiven Effekts auf die Häuser in der roten Gefahrenzone erwartet, dass die Teilnehmenden häufiger Häuser aus der unsicheren Zone wählen würden. Im Gegensatz dazu ist im Falle der gelben oder blauen Gefahrenzone ein Haus in einer unsicheren Zone nicht gezwungenermassen vorteilhafter. Die Resultate zeigen aber überraschenderweise, dass bei allen Gefahrenstufen die Teilnehmenden signifikant häufiger ein Haus in der unsicheren Zone gewählt haben. Dies lässt also erahnen, dass die Teilnehmenden generell lieber ein Haus an einer unsicheren Lage bevorzugen, unabhängig von der Gefahr. Meine Vermutung konnte somit nicht bestätigt werden.

Die Tatsache, dass die Teilnehmenden sich eher für ein Haus in der unsicheren Zone entschieden haben, widerspricht der bestehenden Literatur. Ellsberg (2001, zit. in Hope & Hunter, 2007b) halten fest, dass Menschen generell lieber mit sicheren Daten arbeiten als mit unsicheren. Dies konnte in meiner Studie nicht festgestellt werden. Wann immer die Teilnehmenden meiner Studie die Gelegenheit dazu hatten, haben sie sich für ein Haus aus einer unsicheren Zone entschieden.

Auch die «loss aversion» Theorie nach Kahneman & Tversky (1979) trifft in diesem Fall nicht zu. Die «loss aversion» oder auf Deutsch die «Verlustaversion» besagt, dass Menschen stärker unter einem Verlust leiden als sie den entsprechenden Gewinn wertschätzen können. Im Falle der Visualisierung der Unsicherheit bedeutet dies, dass der Entscheidungstragende den möglichen Verlust durch die Unsicherheit als grösser empfindet, als den möglichen Gewinn durch die Unsicherheit (Hope & Hunter, 2007b). Aus diesem Grund scheint es für einen Menschen sinnvoller die sichere Variante zu wählen, weil Gewinn und Verlust schon im Vorhinein klar absehbar sind. Da sich die Testpersonen meiner Studie des Öfteren für ein Haus in einer unsicheren Gefahrenzone entschieden haben, trifft diese Theorie wahrscheinlich nicht zu. Meiner Meinung nach haben die Teilnehmenden den möglichen Gewinn eines Haus in einer unsichereren Zone als höher eingeschätzt als einen möglichen Verlust. In diesem Zusammenhang wäre es interessant zu

analysieren, ob eher die risikoscheuen oder die risikofreudigen Teilnehmenden Häuser in der unsicheren Gefahrenzone gewählt haben. Leider konnte aus zeitlichen Gründe diese Analyse nicht durchgeführt werden.

Neben der Tatsache, dass die Risikoeinstellung einen möglichen Einfluss darauf hatte, ob die Testperson ein Haus aus der sicheren oder unsicheren Gefahrenzone gewählt hat, könnte auch die visuelle Saliens der Darstellungen der Unsicherheit eine wichtige Rolle gespielt haben. Die ungewohnte Darstellung der Grenzen könnte möglicherweise die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden auf sich gezogen haben. Dies würde bedeuten, dass sich die Teilnehmenden beim Gebrauch der Karte mehr auf die Darstellung der Grenzen konzentriert haben. Unbeabsichtigt könnten sie deshalb vielleicht die Häuser und ihre Eigenschaften in diesen unsicheren Gebieten genauer beurteilt und schlussendlich gewählt haben.

Es gibt Theorien, die besagen, dass gewisse visuelle Reize automatisch die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, unabhängig von den Zielen und den Absichten einer Person (Itti & Koch, 2000). Zu jedem Zeitpunkt ist das menschliche Auge einer überwältigenden Anzahl an Inputs ausgesetzt. Um mit diesen vielen Reizen klarzukommen, wählt das Gehirn nur eine geringe Anzahl an visuellen Stimuli aus, welche genauer untersucht werden (Wolfe & Horowitz, 2004). Die visuelle Aufmerksamkeit wird vor allem von starken Kontrasten angezogen (Itti & Koch, 2000). Dabei halten Wolfe & Horowitz (2004) fest, dass der Farbton, die Grösse und die Orientierung unter Kontrast zweifellos die visuelle Aufmerksamkeit leiten. Auch die Farbhelligkeit und die Form können möglicherweise die Aufmerksamkeit auf sich lenken (Wolfe & Horowitz, 2004).

Bei der Herstellung der Karten habe ich versucht diesen Effekt grösstmöglich zu vermeiden. Kunz et al. (2011) erklären z.B., dass dunklere Farben die Aufmerksamkeit des Betrachtenden auf sich ziehen. Aus diesem Grund habe ich mich entschieden, bei den Karten mit Darstellung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit die helleren Farben für die unsicheren Gebiete und die dunklen Farben für die sicheren Gebiete zu verwenden. Dies sollte den Fokus der Entscheidungstragenden auf die sicheren Zonen lenken. Wie in Kapitel 4.2.7 aufgezeigt, haben aber die Teilnehmenden vor allem bei dieser Darstellung Häuser in der unsicheren Zone gewählt. Bei der Darstellung durch Verschwommenheit hingegen vermischen sich die Farben der Gefahrenzonen ineinander. Dieser Effekt könnte die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden auf sich gezogen haben. Aufgrund der Aussagen von Wolfe und Horowitz (2004), dass der Farbton die visuelle Aufmerksamkeit leiten kann, nehme ich an, dass die neuen Farben, die durch die Mischung entstehen, den Blick der Kartennutzenden auf sich ziehen. Tatsächlich haben die Testpersonen auch bei dieser Visualisierung mehr Häuser in einer unsicheren Zone gewählt.

Bei der Visualisierung der Unsicherheit durch Textur war keine Veränderung der Farben vorhanden. Wolfe & Horowitz (2004) halten aber fest, dass zu der variablen Grösse auch die räumliche Frequenz eines Objektes miteinbezogen ist. Somit könnte der Abstand zwischen den Linien der Textur den Blick des Betrachtenden geführt haben. Des Weiteren könnte auch die Breite – oder Grösse – einen Einfluss gehabt haben. Dies wird durch die Resultate in Kapitel 4.2.7 bestätigt: Die Teilnehmenden haben auch bei der Darstellung mit Textur häufiger ein Haus in der unsicheren Gefahrenzone gewählt.

Um Hinweise über die Vermutungen zur visuellen Salienz zu erhalten, wurden die Augenbewegungen der Teilnehmenden während dem Kartenlesen untersucht. Wie bereits erwähnt wurde dies aus zeitlichen Gründen nur für die Karten mit Darstellung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit und Verschwommenheit gemacht (siehe Kapitel 0).

Bei der Untersuchung der Augenbewegungen hat sich ergeben, dass die Teilnehmenden bei beiden Darstellungsvarianten am zweitlängsten auf die Grenze geschaut haben. Dies bestätigt, dass in der Karte selber die Grenze am längsten fixiert wurde. Ich vermute deshalb, dass zumindest die Darstellungen der Grenzen durch Farbhelligkeit und Verschwommenheit die visuelle Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben. Der genaue Grund für diese Anziehungskraft und ob das gleiche Phänomen auch bei der Darstellung ohne Unsicherheit und der Darstellung durch Textur vorkommt, könnte durch eine vollständige Analyse der Augenbewegungen ermittelt werden.

Zusammenfassend halte ich fest, dass ich im Vorhinein die Vermutung hatte, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit Häuser in der roten Gefahrenzone attraktiver geworden sind, während das nicht zwingendermassen auch für die Häuser in der gelben oder blauen Gefahrenzone zutrifft. Da aber die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit unabhängig von der Gefahrenstufe generell häufiger Häuser aus einer unsicheren Zone gewählt haben, konnte ich diese Vermutung nicht bestätigen. Einen möglichen Grund für dieses Muster könnte die visuelle Salienz sein. Die ungewohnte Darstellung der Grenzen hat die visuelle Aufmerksamkeit der Teilnehmenden auf sich gezogen. Aus diesem Grund könnten die Probanden unbewusst Häuser im Grenzgebiet und ihre Eigenschaften genauer betrachtet und somit gewählt haben.

5.4.2. Wahrnehmung der Gefahr

Wie aus der Diskussion von Forschungsfrage 1 und 2 hervorgegangen, haben die Teilnehmenden meiner Studie bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt. Im vorherigen Unterkapitel habe ich die Vermutung geäußert, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit Häuser in der roten Gefahrenzone attraktiver werden, wenn sie in einer unsicheren Zone liegen. Da ich diese Vermutung nicht bestätigen konnte, versuche ich in diesem Unterkapitel erneut einen möglichen Grund zu finden, warum die Teilnehmenden bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt haben.

Eine mögliche Begründung dafür ist, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Gefahr hat. Durch die Visualisierung der Unsicherheit wurde die Gefahr in der roten Zone möglicherweise unterschätzt. Wie im vorherigen Unterkapitel erwähnt, könnte die Visualisierung der Unsicherheit einen positiven Effekt auf die Attraktivität der Häuser in der roten Gefahrenzone haben. Dadurch haben die Teilnehmenden eher ein risikofreudiges Verhalten aufgezeigt und es gewagt, ein Haus in der roten Gefahrenzone zu wählen.

Dass die Visualisierung von Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung von Risiko haben könnte, wurde z.B. von Andre & Cutler (1998) festgestellt. In ihrer Studie haben die Autoren

herausgefunden, dass, wenn Unsicherheit nicht visualisiert wird, die Entscheidungstragenden eher ein risikofreudiges Verhalten aufweisen. Meine Resultate widersprechen aber diesem Ergebnis. In meinem Fall waren die Entscheidungstragenden bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit risikoscheuer. Auch Riveiro et al. (2014) haben in ihrer Studie festgestellt, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Effekt auf die Wahrnehmung einer Gefahr haben könnte. Die Autoren haben herausgefunden, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit die Teilnehmenden risikoscheuer geworden sind (vgl. Kapitel 5.2.1). Auch diese Erkenntnis aus der bestehenden Literatur widerspricht sich mit meinen Resultaten. Der Unterschied zwischen der Studie von Riveiro et al. (2014) und meiner könnte durch die Erfahrung der Teilnehmenden verursacht sein. In der Studie von Riveiro et al. (2014) waren die Teilnehmenden alle Experten, die schon über mehrere Jahre Erfahrung in der Luftabwehr hatten. Die Teilnehmenden meiner Studie hingegen waren durchwegs Laien, die keine Erfahrung im Bereich von Risikoeinschätzung hatten.

Es ist mir somit möglich die Erkenntnis von Roth (2009a) zu bestätigen. Der Autor hat herausgefunden, dass die Erfahrung einen Einfluss auf die Einschätzung einer Naturgefahr mit Visualisierung der Unsicherheit hat. Bei einem Vergleich zwischen Experten und Laien haben letztere die Gefahr unterschätzt (Roth, 2009a). Dies entspricht dem Resultat meiner Studie. Roth (2009a) hält fest, dass Experten die Auswirkungen der Unsicherheit besser verstehen können. Experten sind sich, im Gegensatz zu Laien, eher daran gewohnt, mit Unsicherheit umzugehen, weshalb sie wahrscheinlich die Gefahr nicht unterschätzen.

Des Weiteren haben Ash et al. (2014) den Zusammenhang zwischen verschiedenen Visualisierungen der Unsicherheit und der unterschiedlichen Wahrnehmung von Gefahr untersucht. Die Autoren haben festgestellt, dass verschiedene Visualisierungen der Unsicherheit die Wahrnehmung eines Risikos verändern können. Wie in Kapitel 2.6.3 schon erläutert, haben Ash et al. (2014) die Angst vor einem Tornado anhand von verschiedenen Visualisierungen des möglichen Pfades des Tornados gemessen. Dabei haben die Autoren herausgefunden, dass sich die Teilnehmenden am meisten vor dem Tornado fürchten, wenn die wahrscheinlich betroffene Fläche ohne Unsicherheit dargestellt wird. Wenn die Unsicherheit mit der Farbhelligkeit dargestellt wird, hatten die Teilnehmenden weniger das Bedürfnis sich zu schützen. Am wenigsten Angst hatten die Probanden bei der Darstellung mit Farbton (Ash et al., 2014).

In der Studie von Ash et al. (2014) haben die Teilnehmenden bei der Darstellung ohne Unsicherheit die Gefahr des Tornados etwas grösser eingeschätzt. Bei der Darstellung mit Farbhelligkeit, vor allem aber bei der Darstellung mit Farbton, wurde das Risiko hingegen kleiner eingeschätzt. Die Wahrnehmung des Risikos hat sich deshalb durch die verschiedenen Visualisierungen verändert. Die Resultate meiner Arbeit widerspiegeln zu einem gewissen Masse die von Ash et al. (2014). In meiner Studie haben die Teilnehmenden in den Karten ohne Unsicherheit Häuser mit geringer Gefahr bevorzugt. Ähnlich zu Ash et al. (2014) scheinen also auch meine Teilnehmenden bei diesen Karten das Risiko überschätzt zu haben. Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit durch Farbhelligkeit haben meine Probanden am meisten Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt. Auch in meinem Fall wurde die Gefahr im Vergleich zur Darstellung ohne Unsicherheit unterschätzt.

Die Erkenntnis, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung einer Gefahr hat, wird von verschiedenen Aussagen meiner Teilnehmenden unterstützt. Bei der Beschreibung der eigenen Strategie in den Schlussfragen, hat die Teilnehmerin P20 angegeben, dass sie Häuser in der höchsten Gefahrenzone nur berücksichtigt hat, wenn diese an der Grenze der Zone lagen. Dies wurde auch von der Teilnehmerin P28 festgehalten. Der Teilnehmer P34 hat mir nach der Studie mündlich erklärt, dass er eher ein Haus am Rand der roten Gefahrenzone gewählt hat, als in der Mitte dieser Zone. Ebenfalls mündlich hat mir die Teilnehmerin P11 nach der Studie erzählt, dass sie sich von der Visualisierung der Unsicherheit bei der Entscheidung beeinflussen liess. Sie erklärte mir, dass, wenn die Lage und der Preis stimmten, sie das Haus erworben hat, trotz der roten, unsicheren Gefahrenzone, da «es ja nur in der hellroten Gefahrenzone lag». Diese Aussagen lassen vermuten, dass durch die Visualisierung der Unsicherheit sich die Wahrnehmung der Gefahr verändert hat. Es lässt sich erahnen, dass bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit das Risiko im Vergleich zu den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit unterschätzt wurde.

Diese Erkenntnis spricht eigentlich gegen die Visualisierung von Unsicherheit in einer Gefahrenkarte. Das Ziel einer Gefahrenkarte sollte die Kommunikation von Naturgefahren sein. Wenn aber durch die Visualisierung der Unsicherheit die Gefahr an Bedeutung verliert, wird dieses Ziel nicht erreicht. Man könnte sich also fragen, wie sinnvoll die Visualisierung von Unsicherheit in einer Gefahrenkarte wirklich ist. Diesbezüglich halte ich fest, dass die Berücksichtigung der Gefahr nur ein Teil der Aufgabe war, die meine Teilnehmenden lösen mussten. Diese Tatsache sowie der Umstand, dass die Gefahr unterschätzt wurde, könnte die Aufmerksamkeit betreffend die Gefahr geschmälert haben. Aufgrund dieser Ergebnisse würde ich aber die Visualisierung der Unsicherheit bei Gefahrenkarten nicht komplett ausschliessen. Wie gesehen, haben die Teilnehmenden die Visualisierung der Unsicherheit nicht als zusätzliche Komplexität, sondern als «Entscheidungshilfe» empfunden. Dies ist meiner Meinung nach, ein wichtiges Signal, weshalb man dem Entscheidungstragenden auch bei Gefahrenkarten die Unsicherheit kommunizieren sollte. Idealerweise sollte man Visualisierungen entwickeln, welche die Unterschätzung der Gefahr verhindern. Somit würde wahrscheinlich das Risiko nicht an Bedeutung verlieren.

Aufgrund der vorgestellten Erkenntnisse halte ich fest, dass durch Visualisierung der Unsicherheit sich die Wahrnehmung verändert hat. Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit wurde die Gefahr unterschätzt und deshalb fiel die Wahl häufiger auf Häuser in der roten Gefahrenzone. Dies wird auch durch verschiedene Aussagen der Teilnehmenden bestätigt. Dabei könnte aber auch die Unerfahrenheit der Teilnehmenden bei der Schätzung einer Naturgefahr eine wichtige Rolle spielen. Ich halte deshalb fest, dass man sich genau überlegen muss, wie und zu welchem Zweck Unsicherheit in einer Gefahrenkarte visualisiert werden soll. Die Gefahr einer Naturkatastrophe zu unterschätzen kann, vor allem bei wichtigen Entscheidungen, verheerende Folgen haben. Deshalb ist es wichtig Darstellungen der Unsicherheit zu erforschen, welche eine solche Fehleinschätzung verhindern.

5.4.3. Zuweisung einer Heuristik

In den letzten Unterkapiteln der Diskussion zu Forschungsfrage 3 habe ich herausgefunden, wie die Visualisierung der Unsicherheit den Prozess der Entscheidungsfindung beeinflussen könnte: Die Teilnehmenden haben öfter Häuser in einer unsicheren Gefahrenzone gewählt, weil die Darstellung der Grenze die Aufmerksamkeit auf sich gezogen und die Wahrnehmung der Gefahr sich geändert hat. Im Folgenden möchte ich herausfinden, ob es möglich ist, dem Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit eine Heuristik zuzuteilen. Des Weiteren wird versucht Unterschiede im Prozess der Entscheidungsfindung zwischen der Bedingung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit zu ermitteln.

Bei der Diskussion der Forschungsfrage 1 wurde erwähnt, dass die detaillierte Analyse der normalisierten Häufigkeit der Haustypen wichtige Hinweise für den Prozess der Entscheidungsfindung liefert (siehe Unterkapitel «Vergleich Ergebnis der Entscheidung: Normalisierte Häufigkeit»). Dabei habe ich herausgefunden, dass gewisse Faktoren als wichtiger empfunden wurden. Bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit stellte sich heraus, dass der wichtigste Faktor die Gefahr war, weil die Teilnehmenden auch Häuser an «schlechter» Lage gewählt haben um in der gelben oder blauen Gefahrenzone bleiben zu können. Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit haben die Probanden auch Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt um nicht auf eine «mittlere» bis «gute» Lage verzichten zu müssen. Somit scheint die Lage der wichtigste Faktor zu sein.

Diese Resultate können gut mit denen von Keuper (2004) in Verbindung gebracht werden (siehe Kapitel 2.6.2). Zum einen lässt sich erahnen, dass, wie bei Keuper (2004), meine Teilnehmenden bei den Entscheidungen mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit einige Faktoren als wichtiger gewichtet haben als andere. Tatsächlich haben bei der Erklärung ihrer Strategie alle Teilnehmenden die Reihenfolge der betrachteten Faktoren beschrieben. Während der ganzen Studie wurde den Teilnehmenden nie informiert, dass gewisse Faktoren wichtiger sind als andere. Die Gewichtung der Faktoren haben die Testpersonen wahrscheinlich unbeabsichtigt vorgenommen.

Aufgrund dieser Erkenntnis kommt Keuper (2004) zum Schluss, dass der Entscheidungsprozess von einer gleichgewichteten additiven Heuristik abgewichen ist. Keuper (2004) liefert zwei Alternativen wie der Entscheidungsprozess tatsächlich abgelaufen ist (siehe Kapitel 2.6.2). Diese zwei Alternativen sind, aufgrund der erhaltenen Resultate, auch für meine Studie anwendbar.

Zum einen schreibt Keuper (2004), dass der Entscheidungsprozess von einer gleichgewichteten additiven zu einer gewichteten additiven Heuristik gewechselt hat. Bei der gewichteten additiven Heuristik werden die Faktoren, die bei der Entscheidung berücksichtigt werden, nicht mehr alle als gleich wichtig betrachtet. Der Entscheidungstragende bestimmt die Wichtigkeit der Faktoren nach seinem Belieben (siehe Kapitel 2.6). Wie eben erwähnt, ist dies auch in meiner Studie der Fall gewesen.

Des Weiteren hat Keuper (2004) festgestellt, dass sich die Reihenfolge der Wichtigkeit der Faktoren zwischen der Entscheidung mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit verändert hat. Bei der Studie von Keuper (2004) wurde in einigen Karten, neben weiteren Informationen, die Unsicherheit für die

Bevölkerungsdichte und die Grenze des Shoppingviertels angegeben. In den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit gehörten diese Faktoren nicht zu den wichtigsten, um die Entscheidung zu treffen. Sobald aber die Unsicherheit der Bevölkerungsdichte und der Grenze des Shoppingviertels kommuniziert wurde, wurden sie viel stärker in die Entscheidung miteinbezogen. Dies bedeutet, dass die Faktoren, für welche die Unsicherheit visualisiert wurde, bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit an Bedeutung gewonnen haben. In diesem Fall sind die Erkenntnisse von Keuper (2004) nicht ganz auf meine Resultate übertragbar. Dass die Teilnehmenden zwischen der Entscheidung ohne und mit Visualisierung der Unsicherheit die Wichtigkeit der Faktoren neu geordnet haben, konnte ich auch in meiner Studie feststellen. Bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit war jedoch nicht die Gefahr, für welche die Unsicherheit dargestellt wurde, der wichtigste Faktor für die Entscheidung. Dies hängt wahrscheinlich mit der Wahrnehmung des Risikos zusammen. Da die Gefahr durch die Visualisierung der Unsicherheit unterschätzt wurde, vermute ich, dass sie auch an Bedeutung verloren hat.

Andererseits schlägt Keuper (2004) vor, dass die gleichgewichtete additive Heuristik einer attributweisen Eliminationsregel gewichen ist. Keuper (2004) begründet diese zweite Möglichkeit damit, dass die gewichtete additive Heuristik kognitiv komplex und zeitaufwendig ist. Die attributweise Eliminationsregel hingegen ist kognitiv einfacher und erlaubt es, schnellere Entscheidungen zu treffen. Der Grund dafür ist, dass bei der attributweisen Eliminationsregel die Faktoren (auch Kriterien genannt), die für die Entscheidung relevant sind, einzeln betrachtet werden (Payne et al., 1993) (siehe Kapitel 2.5). Payne et al. (1993) erklären, dass bei dieser Heuristik das wichtigste Kriterium und ein entsprechender Schwellenwert oder Anspruchsniveau festgelegt werden. Alle Entscheidungsalternativen, die diesen Schwellenwert nicht erfüllen, werden eliminiert, in der Reihenfolge der Wichtigkeit der Faktoren. Am Schluss bleibt nur eine Entscheidungsalternative übrig, welche gewählt wird.

Auch die attributweise Eliminationsregel könnte auf meine Resultate anwendbar sein. Bei der Beschreibung der Entscheidungsstrategie haben gewisse Teilnehmende geschrieben, dass sie z.B. Häuser in der roten Gefahrenzone nicht berücksichtigt haben. Diese Teilnehmenden haben für den Faktor Gefahr das Anspruchsniveau tiefes oder mittleres Risiko festgelegt. Häuser, die dieses Anspruchsniveau nicht erfüllten, wurden direkt eliminiert. Anderen Teilnehmenden war die Lage wichtiger. Sie haben z.B. erwähnt, dass sie Häuser in einer schattigen Lage bei ihrer Entscheidung sofort ausgeschlossen haben.

Viele Teilnehmende haben sogar ein ganzes Ausschlussverfahren beschrieben. Dazu haben sie die Reihenfolge der berücksichtigten Faktoren aufgelistet. Die Teilnehmerin P17 hat z.B. notiert, dass sie zuerst die Gefahrenzone berücksichtigt hat. Wie bei anderen Teilnehmenden, hat auch diese Testperson Häuser in der roten Gefahrenzone unmittelbar ausgeschlossen. Anschliessend hat sich die Teilnehmerin P17 auf die Lage konzentriert. Für diese Probandin war der Sonnenstand der wichtigste Faktor bezüglich Lage. Die Nähe zum See hingegen war weniger wichtig. Der Preis war für P17 nicht ausschlaggebend für die Entscheidung, da sie beim Lotto gewonnen hatte. Das beschriebene Ausschlussverfahren von mehreren Teilnehmenden scheint darauf hinzudeuten, dass die Testpersonen bei ihrer Entscheidung eine attributweise Eliminationsregel angewendet haben.

Bei anderen Teilnehmenden vermute ich, dass sie beide heuristischen Vorgehensweisen genutzt haben: Die gewichtete additive Heuristik und die attributweise Eliminationsregel. Diese Teilnehmenden haben z.B. geschrieben, dass sie Häuser in der höchsten Gefahrenzone direkt ausgeschlossen haben, auf die Anwendung der attributweisen Eliminationsregel hinweisen würde. Nachdem sie gewisse Häuser ausgeschlossen hatten, haben die Teilnehmenden erklärt, dass sie die Lage und den Preis gegeneinander abgewogen und dann ihre Entscheidung getroffen haben. Bei diesem zweiten Schritt vermute ich, dass die Teilnehmenden eine (gleich-)gewichtete additive Heuristik angewendet haben. Somit könnte man vermuten, dass während derselben Entscheidung mehrere heuristische Vorgehensweisen zum Zuge kamen.

Was bedeutet diese Erkenntnis bezüglich der Heuristik in einem breiteren Kontext? Alle Teilnehmenden haben den verschiedenen Faktoren eine Gewichtung gegeben. Ich bin der Meinung, dass diese Gewichtung, wenn möglich, vermieden werden soll, damit die Teilnehmenden eine gleichgewichtete additive Heuristik anwenden können. Um diese Gewichtung zu vermeiden sollte die Visualisierung der Unsicherheit in den Gefahrenkarten möglichst gut verständlich sein. Wenn der Entscheidungstragende eine Information auf der Karte nicht richtig versteht, dann verliert diese Information an Bedeutung. Falls die Visualisierung der Unsicherheit der Gefahr nicht einfach verständlich ist, verliert sie an Bedeutung während ein anderer Faktor, z.B. die Lage, an Gewichtung gewinnt. Somit ordnet der oder die Entscheidungstragende unbewusst die Faktoren nach ihrer Reihenfolge.

Um diesen Teil der Diskussion der Forschungsfrage 3 zusammenzufassen halte ich fest, dass zwischen den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit die Teilnehmenden die Wichtigkeit der Faktoren neu geordnet haben. Des Weiteren vermute ich, dass bei der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit die Teilnehmenden entweder eine gewichtete additive Heuristik, eine attributweise Eliminationsregel oder eine Kombination dieser zwei Varianten angewendet haben.

5.4.4. Diskussion der logistischen Regression

Ich habe in dieser Arbeit eine logistische Regression durchgeführt. Das Ziel war herauszufinden, ob es mithilfe der logistischen Regression möglich ist ein Erklärungsmodell für den Prozess der Entscheidungsfindung aufzubauen. Wie genau eine logistische Regression funktioniert, wurde in Kapitel 0 erläutert. Als Erinnerung: Mithilfe der logistischen Regression ist es möglich die Wahrscheinlichkeit zu schätzen, mit welcher ein Haus aufgrund seiner Eigenschaften gewählt wird oder nicht. Dabei kann man feststellen, welche Faktoren eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Häuser hatten.

Die binäre logistische Regression wurde zuerst für alle vier Darstellungsvarianten zusammen berechnet (siehe Kapitel 0). Diese ergab, dass die Faktoren Lage und Gefahr genügen, um die Entscheidung der Teilnehmenden vorherzusagen. Der Preis, die sichere oder unsichere Zuteilung der Gefahrenzone sowie die Risikoeinstellung der Teilnehmenden waren hingegen nicht von grosser Wichtigkeit. Dieses Resultat bestätigt die Tatsache, dass der Preis als Faktor nicht berücksichtigt wurde. Des Weiteren haben die standardisierten Koeffizienten, welche die Stärke des Einflusses der Faktoren angeben, gezeigt, dass die

Lage den grösseren Einfluss auf die Entscheidung hatte. Die Teilnehmenden haben also über alle Darstellungsvarianten hinweg die Lage als wichtigster Faktor eingestuft. Die Gefahr war hingegen weniger wichtig als die Lage. Da der Einfluss der Lage (standardisierter Koeffizient: 0.30) fast doppelt so gross ist wie derjenige der Gefahr (standardisierten Koeffizient: 0.16), halte ich fest, dass der Unterschied des Einflusses der zwei Faktoren auf die Entscheidung relativ gross war.

Aus dem Resultat der logistischen Regression geht ausserdem hervor, dass vor allem Häuser mit einer «mittleren» bis «guten» Lage und einem geringen Risiko einer Naturkatastrophe besonders beliebt waren. Besass ein Haus die Kombination dieser Eigenschaften, war die Wahrscheinlichkeit hoch, dass es gewählt wurde. Es ist somit möglich die Erkenntnisse der Diskussion der normalisierten Häufigkeit der Forschungsfrage 1 und 2 zu bestätigen. Wie Abbildung 62 und Abbildung 63 aufzeigen, wurden vor allem Häuser mit geringer Gefahr und «mittlerer» bis «guter» Lage gewählt (Haustypen 2 und 3).

Die logistische Regression wurde auch für die Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und für die Karten mit Visualisierung der Unsicherheit separat berechnet. Bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit hat sich das Resultat bestätigt, welches sich insgesamt bei allen Karten gezeigt hat. Die Faktoren, die die Entscheidung massgeblich beeinflusst haben, sind die Lage und die Gefahr. Bezüglich den standardisierten Regressionskoeffizienten (Lage = 0.32, Gefahr = 0.23) habe ich hingegen festgestellt, dass der Unterschied des Einflusses der Aspekte Lage und Gefahr nicht mehr so gross ist, wie bei allen Karten zusammen. Die beiden Faktoren hatten in den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit etwa den gleichen Einfluss auf die Entscheidung, auch wenn die Lage immer noch wichtiger war.

Für die Karten mit Visualisierung der Unsicherheit wurde, zusätzlich zur Gefahr und zur Lage, auch die Tatsache, ob ein Haus in einer sicheren oder unsicheren Gefahrenzone liegt, dem Regressionsmodell hinzugefügt. Dies bedeutet, dass, wenn die Unsicherheit visualisiert wurde, sie eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Häuser gespielt hat. Tatsächlich wurde bei diesen Karten festgestellt, dass ein Haus, welches an einer «mittleren» bis «guten» Lage liegt, eine tiefe Gefahr aufweist und in einer unsicheren Gefahrenzone liegt, die höchste Wahrscheinlichkeit hat gewählt zu werden. Dies bestätigt das bereits im Unterkapitel «Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit» beschriebene Resultat, welches aufgezeigt hat, dass die Teilnehmenden generell öfter ein Haus in einer unsicheren Zone gewählt haben, unabhängig von der Gefahrenstufe.

Durch die Berechnung der standardisierten Koeffizienten konnte ich feststellen, dass der Unterschied des Einflusses der Faktoren Lage (standardisierten Koeffizient: 0.45) und Gefahr (standardisierten Koeffizient: 0.20) wieder grösser geworden ist. Die Lage scheint bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit einen stärkeren Einfluss auf die Entscheidung gehabt zu haben. Wie schon erläutert, wurde die Gefahr durch Visualisierung der Unsicherheit unterschätzt. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Gefahr an Bedeutung verloren hat. Da alle Teilnehmenden eine Heuristik angewendet haben, welche eine Reihenfolge der Wichtigkeit der Faktoren benötigt, ist bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit die Lage deutlich wichtiger geworden.

Generell scheinen die Resultate der standardisierten Regressionskoeffizienten meine Vermutung, dass die Teilnehmenden bei der Darstellung mit Visualisierung der Unsicherheit die Lage als wichtigster Faktor empfunden haben, zu bestätigen. Tatsächlich scheint der Einfluss der Lage doppelt so stark zu sein als der der Gefahr. Dass der Unterschied zwischen dem Einfluss der Gefahr und der Lage bei der Darstellung ohne Unsicherheit hingegen geringer ist. Da die Teilnehmenden aber nur vier Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit gesehen haben, vermute ich, dass bei einer grösseren Anzahl an Entscheidungen, die Wichtigkeit der Faktoren sich vielleicht umgedreht hätte.

Alles im allem kann ich festhalten, dass die binäre logistische Regression ein gutes Erklärungsmodell für die getroffene Entscheidung ist. Ich konnte durch die Regression mehrere Muster wiedererkennen, welche ich schon im Vorhinein erkannt habe.

Um die Forschungsfrage 3 zu beantworten halte ich fest, dass eine Veränderung des Entscheidungsfindungsprozesses zwischen den Karten ohne und mit Unsicherheit z.T. stattgefunden hat. Es lässt sich erahnen, dass die Teilnehmenden die Wichtigkeit der Faktoren bei den zwei Bedingungen anders geordnet haben. Da bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit die Gefahr an Bedeutung verloren hat vermute ich, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Gefahr hat. Die Teilnehmenden haben das Risiko einer Naturkatastrophe unterschätzt. Dies liegt wahrscheinlich an ihrer mangelnden Erfahrung bei dem Umgang mit Unsicherheit bei der Einschätzung von Naturgefahren (Roth, 2009a).

Des Weiteren vermute ich, dass die Teilnehmenden bei den Entscheidungen mithilfe der Karten mit Visualisierung der Unsicherheit entweder eine gewichtete additive Heuristik, eine attributweise Eliminationsregel oder eine Mischung dieser beiden angewendet haben. Dies schliesse ich aus dem Ergebnis der Entscheidung und aus der Beschreibung der Strategie der Teilnehmenden.

5.5. Kritische Betrachtung der Arbeit

Wie bei der Diskussion der Resultate meiner Studie festgestellt wurde, hat die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Leistung und auf den Prozess der Entscheidungsfindung. Im Folgenden möchte ich die verwendete Methodik kritisch reflektieren, welche bei der Interpretation der Resultate zu beachten ist.

Eine grosse Einschränkung dieser Arbeit, ist die Tatsache, dass in den Karten keine realen Gefahrenzonen dargestellt wurden. Meines Wissens nach gibt es keine Modelle für die Vorhersage von Naturkatastrophen, welche die Unsicherheit berechnen (Kunz et al., 2011). Deshalb war es schwierig reale Gefahrenkarten mit Visualisierung der Unsicherheit herzustellen. Des Weiteren, wie in Kapitel 3.5.2 schon erläutert, wurde die Form der Gefahrenzonen kontrolliert. Damit wollte ich verhindern, dass die Geometrie zu Verzerrungen in der Interpretation der verschiedenen Darstellungen führte. Durch diese Kontrolle sind die Gefahrenkarten aber weniger Realitätsnahe, was die Resultate der Studie beeinflussen könnte. Wahrscheinlich wären die Erkenntnisse der Studie aussagekräftiger, wenn die Gefahrenkarten

realitätsgetreu wären. Nichtsdestotrotz bin ich der Meinung, dass meine Erkenntnisse auch für reale Gefahrenkarten anwendbar sind.

Auch die Anzahl Karten, welche die Teilnehmenden gesehen haben, könnte die Verallgemeinerung der Erkenntnisse beschränken. Die Probanden haben nur vier Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit und 12 Karten mit Visualisierung der Unsicherheit gesehen. Mit dieser geringen Anzahl an Karten ist es schwierig die Resultate zu vergleichen. Es könnte deshalb möglich sein, dass die gewonnenen Erkenntnisse nicht allgemein gültig sind. Vor allem die Tatsache, dass nur vier Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit eingesetzt wurden, könnte die Aussagekraft der Erkenntnisse beeinträchtigen.

Eine weitere Einschränkung bezüglich der angewendete Methodik ist, dass die meisten Teilnehmenden bei ihrer Entscheidung, unabhängig von der Visualisierung, den Faktor Preis kaum berücksichtigt haben. Diese Vermutung basiert auf die Analyse der normalisierten Häufigkeit in Forschungsfrage 1 und auf die Resultate der Schlussfragen. Die meisten Teilnehmenden haben dort angegeben, dass sie der Preis als unwichtigster Faktor angesehen haben (siehe Kapitel 4.3.1). Des Weiteren haben mir mehrere Teilnehmenden nach der Studie mündlich mitgeteilt, dass sie den Preis nicht beachtet haben. Während der Arbeit habe ich auch eine zweite Klassifikation der Häuser durchgeführt. Dabei wurden die Haustypen nur nach Gefahr und Lage klassiert. Da ich bei allen Analysen, die hier vorgestellt wurden, die gleichen Resultate erhalten habe, komme ich zum Schluss, dass der Preis tatsächlich keine wichtige Rolle bei der Entscheidung gespielt hat. Ein Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass im Szenario der Hauptaufgabe nicht angegeben wurde, wie hoch die gewonnene Geldsumme war. Somit war es für die Teilnehmenden schwierig einzuschätzen, wie viel sie ausgeben konnten.

Bei der Vorbereitung der Studie hatte ich mich entschieden, keine genaue Summe im Szenario zu nennen, um die Entscheidung der Teilnehmenden nicht allzu stark zu beeinflussen. Die Testpersonen sollten einzig wissen, dass sie sich jedes Haus auf der Karte leisten konnten. Mein Ziel war es, dass die Teilnehmenden sich überlegen müssen, wie viel sie bereit waren für ein Haus mit gewissen Eigenschaften auszugeben. Für ein Haus mit viel Sonne und Seesicht sollten die Probanden bereit sein mehr auszugeben als für ein Haus, das das ganze Jahr im Schatten liegt. Vermutlich wurde dies im Szenario des Hauptexperiments nicht klar genug kommuniziert. Diese Tatsache könnte zu Verzerrungen bei der Berücksichtigung des Faktors Preis geführt haben.

Was das Szenario angeht, könnte man sich fragen, ob die Aufgabe realistisch war. Ein Haus zu kaufen ist eine grosse Investition und nicht alle der hier gefragten Testpersonen wird sich in Zukunft ein Haus kaufen wollen. Somit könnte die Motivation bei der Lösung der Aufgabe nicht bei allen Teilnehmenden hoch gewesen sein. Nach einigen Recherchen bin ich aber davon überzeugt, dass bei dem Kauf eines Hauses es sinnvoll ist eine Gefahrenkarte zurate zu ziehen. Webseiten wie die Nationale Plattform der Naturgefahren PLANAT¹⁸ bieten für die Hauseigentümer detaillierte Informationen bezüglich Gefahrenkarten. Somit ist der Zusammenhang zwischen Hauskauf und die Beratung einer Gefahrenkarte nicht allzu realitätsfremd. Da Hope & Hunter (2007b) und Roth (2009a) festgestellt haben, dass die

¹⁸ <http://www.planat.ch/de/hauseigentuemers/>, letzter Zugriff: 26.09.2016

Erfahrung eine wichtige Rolle bei Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit haben kann, wollte ich eine Studie durchführen, bei der ich vermutete, dass die meisten Teilnehmenden meiner Studie keine Erfahrung hatten.

Auch bezüglich der gewählten Auswertungsmethode gibt es gewisse Einschränkungen. Da die rohen Daten meiner Studie kategoriell waren, war es unmöglich diese direkt statistisch zu analysieren. Aus diesem Grund habe ich die Daten mithilfe von zwei Auswertungsmethode in numerischen Daten transformiert: Die Punktzahl und die normalisierte Häufigkeit. Die Methode der Punktzahl verbirgt aber gewisse Nachteile. Wenn die Verteilung der gewählten Haustypen nicht normalverteilt ist, ist der berechnete Durchschnitt der Punkte nicht repräsentativ für die Wahl der Teilnehmenden. Ein Beispiel: Wählt eine Testperson zweimal Haustyp 1 und zweimal Haustyp 6, dann wird eine durchschnittliche Punktzahl von 3.5 erreicht. Dies besagt, dass der oder die Teilnehmende im Durchschnitt Haustyp 3.5 gewählt hat. Da aber die Testperson weder Haustyp 3 noch Haustyp 4 gewählt hat, kann diese Punktzahl zu falschen Interpretationen führen. Ausserdem könnte bei diesem Verfahren, im Gegensatz zu Auswertungsmethode 2, die Häufigkeit, mit der ein Haus zur Auswahl stand, nicht berücksichtigt werden. Somit kann ermittelt werden, ob ein Haustyp, welcher öfters zur Auswahl stand auch häufiger gewählt wurde. Der Vorteil der Auswertungsmethode 1 ist, dass sie einen Überblick der gewählten Häuser erlaubt. Wie gesehen kann aber dieser Überblick zu Verzerrungen bei der Interpretation führen. Ich denke, dass die Berechnung einer Punktzahl eine von viele möglichen Transformationen ist, die in diesem Fall anwendbar sind. Diesbezüglich wäre es interessant weitere Auswertungsmethoden zu testen und die Resultate miteinander zu vergleichen.

6. Schlusswort und Ausblick

6.1. Schlusswort

Daten sind immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, sei dies in den Naturwissenschaften, in der Medizin oder in den Computerwissenschaften (Skeels et al., 2010). Auch räumliche Daten sind mit Unsicherheit behaftet (Duckham et al., 2001). Da geographische Daten aus den Komponenten Raum, Zeit und Attribut bestehen, kann sich die Unsicherheit eines Objektes auf der Erdoberfläche auf seine Position, seine Existenz oder seine Beschreibung beziehen (Shi, 2010). Des Weiteren ist die Annahme verbreitet, dass räumliche Daten sicher, zuverlässig und eindeutig sind, da die gängigen Computermodelle zur Berechnung der Vorhersage von geographische Phänomene die Unsicherheit nicht berücksichtigen (Duckham et al., 2001). Wie Duckham et al. (2001) aber festhalten, ist dies eine vereinfachte Annahme. Die Unsicherheit darf bei der Arbeit mit räumlichen Daten nicht einfach ignoriert werden (Zhang & Goodchild, 2002). Wenn Entscheidungen anhand von geographischen Daten getroffen werden ohne die Unsicherheit zu beachten, kann dies zu fehlerhaften Schlussfolgerungen bezüglich räumlichen Mustern und Prozessen führen (Smith et al., 2013). Aus diesem Grund halten Smith et al. (2013) fest, dass es von grosser Wichtigkeit ist zu verstehen, was Unsicherheit überhaupt ist, wie sie sich verbreitet und wie man sie am besten visualisieren soll, um die Entscheidungstragenden bei ihrer Entscheidung zu unterstützen.

In meiner Arbeit habe mich vor allem auf letzteren Themenbereich konzentriert. Wie ich im Forschungskontext dieser Arbeit erläutert habe, hat sich die Forschung vor allem darauf konzentriert geeignete Darstellungen für die Visualisierung von Unsicherheit in einer Karte zu erforschen. Das Verständnis dieser Darstellungen wurde jeweils mithilfe von einfachen Aufgaben getestet. Nur wenige Studien hingegen haben sich auf die Auswirkung der Visualisierung der Unsicherheit bei einer Entscheidung fokussiert. Insbesondere fehlt es an Studien, die den Einfluss bei komplexen Entscheidungen untersuchen. Wie eine komplexe Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit abläuft ist von grosser Wichtigkeit um zu verstehen, ob es sinnvoll ist, Unsicherheit in allen Fällen zu kommunizieren.

Es gibt Erkenntnisse, dass die Visualisierung von Unsicherheit die Leistung einer Entscheidung beeinflussen kann. Zum Beispiel wird durch die Visualisierung der Unsicherheit das Ergebnis der Entscheidung verändert (z.B. Deitrick & Edsall, 2006; Pyysalo & Oksanen, 2014; Riveiro et al., 2014). Auch auf die Korrektheit der Entscheidung kann die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss haben (siehe z.B. Andre & Cutler, 1998; Leitner & Buttenfield, 2000; Hope & Hunter, 2007b). Des Weiteren kann die Unsicherheit auch auf verschiedene Arten visualisiert werden, was wiederum die Entscheidung beeinflussen kann (siehe z.B. Hope & Hunter, 2007a; Cheong et al., 2016). Dies wirft aber folgende Fragen auf: Sind diese Einflüsse auf die Entscheidungsleistung auch bei komplexen Entscheidungen feststellbar? Und falls ja, warum führt die Visualisierung der Unsicherheit zu verschiedenen Entscheidungen? Wie verläuft der Prozess einer komplexen Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit? Diesbezüglich gibt es noch wenige Studien, weshalb ich mich entschieden habe, diesen Fragestellungen in meiner Arbeit nachzugehen.

Um zu verstehen wie eine komplexe Entscheidung mithilfe einer Karte, auf der die Unsicherheit visualisiert ist, abläuft, habe ich eine Studie mit 37 Geographie-Studentinnen und Studenten des geographischen Instituts der Universität Zürich durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie mussten sich die Teilnehmenden aufgrund von 16 Gefahrenkarten für ein Haus entscheiden, welches sie kaufen würden. In einer Gefahrenkarte wird das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit einer Naturkatastrophe in einer gewissen Region mit drei verschiedenen Farben dargestellt (gelb = geringe Gefahr, blau = mittlere Gefahr, rot = hohe Gefahr) (Trau & Hurni, 2007). Die Berechnung des Ausmasses der Naturgefahr basiert auf mathematischen Modellen, welche Unsicherheit mit sich bringen (Kunz et al., 2011). Bei der Herstellung von Gefahrenkarten wird diese Unsicherheit heutzutage aber nicht berücksichtigt, sondern die Betroffenheit einer Region wird vereinfacht einer der drei Klassen zugeteilt (Kunz et al., 2011). Aus diesem Grund wurden in meiner Studie bei 12 Gefahrenkarten die Unsicherheit der Grenzen zwischen den drei Gefahrenzonen mit drei verschiedenen Visualisierungsarten dargestellt. Für die Visualisierung der Unsicherheit habe ich die graphischen Variablen Farbhelligkeit, Verschwommenheit und Textur eingesetzt. Vier der 16 Gefahrenkarten dienten als Kontrollkarten, bei welchen die Unsicherheit nicht visualisiert wurden. Auf jeder Gefahrenkarte waren vier Häuser eingezeichnet. Jedes Haus gehörte zu einer der drei Gefahrenzonen. Des Weiteren wurde für jedes Haus der Kaufpreis und eine kurze Beschreibung der Lage angegeben. Die Teilnehmenden wurden gebeten, aufgrund der Faktoren Gefahr, Lage und Preis ein Haus zu wählen, welches sie gerne kaufen würden. Da die Probanden drei Faktoren gleichzeitig berücksichtigen mussten, handelt es sich hierbei um eine komplexe Entscheidung (Multikriterien-Analyse).

Am Anfang dieser Arbeit habe ich vermutet, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Leistung einer Entscheidung hat (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund meiner Erkenntnisse, kann ich diese Hypothese bestätigen. Bezüglich dem Ergebnis der Entscheidung haben die Teilnehmenden bei den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit häufiger Häuser in einer Zone mit tiefer oder mittlerer Gefahr gewählt, während bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit öfters Häuser in der Zone mit der höchsten Gefahr gewählt wurden. Die Teilnehmenden waren also bei der Hauswahl aufgrund der Karten mit Visualisierung der Unsicherheit risikofreudiger als ohne Visualisierung der Unsicherheit. Es konnte jedoch kein signifikanten Unterschied festgestellt werden, was eventuell auf die kleine Probandengruppe zurück zu führen ist. Die Erkenntnis bestätigt die Ergebnisse der bestehenden Literatur (Deitrick & Edsall, 2006; Hope & Hunter, (2007a); Pyysalo & Oksanen, (2014); Riviero et al., 2014).

Des Weiteren, hatte ich aufgrund der bestehenden Literatur (z.B. Leitner & Buttenfield, 2000 oder Riveiro et al., 2014) die Hypothese aufgestellt, dass die Visualisierung der Unsicherheit keinen Effekt auf die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung hat. In der Tat konnte ich keinen Unterschied zwischen der benötigten Zeit für eine komplexe Entscheidung ohne Visualisierung der Unsicherheit und mit Visualisierung der Unsicherheit feststellen. Basierend auf meinen Resultaten stimme ich Leitner & Buttenfield (2000) und Aerts et al. (2003) zu, dass die Visualisierung der Unsicherheit nicht als zusätzliche Komplexität bei einer Entscheidung, sondern als Entscheidungshilfe empfunden wird. Es kann also dem Entscheidungstragenden von grossem Nutzen sein, die Unsicherheit auf einer Karte zu visualisieren.

Meine anfängliche Hypothese, dass die Art, wie die Unsicherheit visualisiert wird, einen Einfluss auf das Ergebnis einer komplexen Entscheidung hat, konnte aufgrund meiner Resultate bestätigt werden. Die Teilnehmenden meiner Studie haben signifikant andere Entscheidungen mit der Visualisierung durch Farbhelligkeit im Vergleich zu den Karten mit Visualisierung durch Textur getroffen. Bei der Visualisierung durch Farbhelligkeit haben die Teilnehmenden eine höhere durchschnittliche Punktzahl erreicht, was darauf hindeutet, dass häufiger Häuser in der roten Gefahrenzone gewählt wurden. Somit wurde das Risiko, im Vergleich zu der Darstellung mit Textur, unterschätzt. Des Weiteren vermute ich, dass die Visualisierung der Unsicherheit durch Textur nicht von allen korrekt verstanden wurde. Deshalb bin ich der Meinung, dass die Teilnehmenden aufgrund des fehlenden Verständnisses der Visualisierung häufiger Häuser mit geringerem Risiko gewählt haben. Aus diesem Grund würde ich davon abraten die Textur für die Visualisierung der Unsicherheit in Gefahrenkarten anzuwenden.

In diesem Zusammenhang wurde auch die zeitliche Effizienz der Entscheidung zwischen den drei Visualisierungsvarianten der Unsicherheit verglichen. Ich habe die Hypothese aufgestellt, dass verschiedene Darstellungen der Unsicherheit die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung beeinflussen können. Diese Hypothese kann ich aufgrund meiner Resultate bestätigen. Ich habe herausgefunden, dass die Teilnehmenden bei den Karten mit Verschwommenheit signifikant länger für ihre Entscheidung gebraucht haben als bei den Karten mit Farbhelligkeit. Die Analyse der Augenbewegungen hat in diesem Zusammenhang ergeben, dass die Probanden deutlich länger auf die Grenze geschaut haben, wenn diese durch Verschwommenheit dargestellt wurde. Die Verschwommenheit ist eine kontinuierliche Darstellung, weshalb die Teilnehmenden vermutlich länger für die Interpretation der Grenzen brauchten. Die Visualisierung mit Verschwommenheit ist deshalb nicht ideal, wenn man Entscheidungen unter Zeitdruck treffen muss. Im Gegensatz dazu scheint im Hinblick auf die benötigte Zeit die Darstellung mit Farbhelligkeit zeitlich effizienter zu. Nachteilhaft an dieser Visualisierung ist aber die Tatsache, dass die Gefahr unterschätzt wird und somit die Entscheidungstragenden häufiger Häuser in roten Gefahrenzone gewählt haben.

Bisher habe ich die Erkenntnisse des Zusammenspiels zwischen der Visualisierung der Unsicherheit und der Entscheidungsleistung erläutert. Im Folgenden verschiebe ich den Fokus auf den Teilnehmenden selber. Dabei habe ich festgestellt, dass die spezifischen Eigenschaften der Entscheidungstragenden das Ergebnis einer Entscheidung beeinflussen können. In meiner Arbeit habe ich diesbezüglich den Einfluss der Risikoeinstellung und der räumlichen Denkfähigkeit erforscht. Für die Risikoeinstellung stellte sich heraus, dass vor allem risikofreudige Teilnehmende sich von der Visualisierung der Unsicherheit beeinflussen lassen. Diese Teilnehmenden haben im Vergleich zu den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit häufiger ein Haus in der roten Gefahrenzone gewählt. Ich vermute, dass aufgrund der Visualisierung der Unsicherheit diese Teilnehmenden ihre Risikofreude zum Ausdruck bringen konnten. Was die räumlichen Denkfähigkeiten angeht konnte kein Unterschied bei der Hausauswahl zwischen der Gruppe mit hohen räumlichen Denkfähigkeiten und jener mit tiefen räumlichen Denkfähigkeiten festgestellt werden. Dies lässt mich

vermuten, dass alle Teilnehmenden, unabhängig von ihren räumlichen Denkfähigkeiten, die Gefahrenkarten gleich gut interpretieren konnten. Wie aber der Unterschied bei der Risikoeinstellung gezeigt hat, ist es wichtig bei der Visualisierung der Unsicherheit in einer Karte nicht nur die Darstellungsart zu beachten, sondern auch spezifischen Eigenschaften des Kartennutzenden. Wenn man also eine Karte mit Visualisierung der Unsicherheit erstellt, sollte man sich über das Zielpublikum bewusst sein und die Darstellung daran anpassen.

In der dritten Forschungsfrage bin auf Unterschiede bezüglich dem Prozess der Entscheidungsfindung zwischen Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit näher eingegangen. Dabei habe ich festgestellt, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Gefahr hat. In der bestehenden Literatur gibt es bereits Erkenntnisse, welche zeigen, dass die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf die Wahrnehmung eines Risikos haben kann (Andre & Cutler, 1998; Roth, 2009a; Ash et al., 2014; Riveiro et al., 2014). In meiner Studie vermute ich, dass die Teilnehmenden die Gefahr bei den Karten mit Visualisierung der Unsicherheit im Vergleich zu den Karten ohne Visualisierung der Unsicherheit unterschätzt haben. Aus diesem Grund hat der Faktor Gefahr bei dem Prozess der Entscheidungsfindung an Bedeutung verloren. Diese Erkenntnis würde eigentlich gegen die Visualisierung von Unsicherheit in einer Gefahrenkarte sprechen. Da aber einige Teilnehmende angegeben haben, dass sie die Visualisierung der Unsicherheit als eine «Entscheidungshilfe» empfunden haben, bin ich der Meinung, dass die Visualisierung nicht ausschliessen sollte. Man sollte hingegen Darstellungen erforschen, die eine solche Fehleinschätzung vermeiden können.

Bezüglich dem Prozess der Entscheidungsfindung wurde auch mithilfe der Schlussfragen untersucht, wie genau der Prozess mit Visualisierung der Unsicherheit verläuft. Dabei hatte ich die Hypothese aufgestellt, dass der Entscheidungstragende mit Visualisierung der Unsicherheit eine heuristische Vorgehensweise anwendet. Aufgrund der Tatsache, dass alle Teilnehmenden die Faktoren Lage, Gefahr und Preis für die Entscheidung nach ihrer Wichtigkeit gewichtet haben, vermute ich, dass die Entscheidungstragenden entweder eine gewichtete additive Heuristik, eine attributweise Eliminationsregel oder eine Mischung der beiden Heuristiken angewendet haben. Somit konnten die Erkenntnisse von Keuper (2004) und meine anfängliche Hypothese (siehe Kapitel 3.1) bestätigt werden. Ich bin der Meinung, dass die Unsicherheit so visualisiert werden sollte, damit diese Gewichtung nicht mehr stattfindet. Um dies zu vermeiden sollte die Darstellung der Unsicherheit gut verständlich sein. Denn wenn eine Information nicht klar interpretierbar ist, kann sie an Bedeutung verlieren, wie es in dieser Arbeit beobachtet wurde.

Um die wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit zusammenzufassen: Gemäss den Resultaten dieser Studie hat die Visualisierung der Unsicherheit einen Einfluss auf eine komplexe Entscheidung. Dieser Einfluss konnte sowohl für die Entscheidungsleistung wie auch für den Prozess der Entscheidungsfindung festgestellt werden. Bei dem Vergleich zwischen den Karten mit und ohne Visualisierung der Unsicherheit gibt es einen erkennbaren aber nicht signifikanten Unterschied im Ergebnis der Entscheidung. Die auch die benötigte Zeit für die Entscheidungsfindung unterscheidet sich statistisch nicht zwischen Karten mit und

ohne Visualisierung der Unsicherheit. Im Gegensatz dazu wurden bei dem Vergleich der drei Darstellungen der Unsicherheit signifikante Unterschiede im Ergebnis der Entscheidung und bei der benötigten Zeit für die Entscheidungsfindung festgestellt. Hinsichtlich der benötigten Zeit und der Verständlichkeit, scheint die Darstellung mit Farbhelligkeit die geeignetste Visualisierungsart zu sein. Sie bringt aber den Nachteil mit sich, dass die Gefahr unterschätzt wurde. Allgemein wurde durch die Visualisierung der Unsicherheit die Wahrnehmung der Gefahr verändert. Die Veränderung zeigte sich dadurch, dass die Bedeutung des Faktors Gefahr an Gewicht verloren hat. Durch die Priorisierung der Faktoren konnte festgestellt werden, dass die Entscheidungstragenden entweder die gewichtete additive Heuristik, die attributweise Eliminationsregel oder eine Mischung der beiden Vorgehensweisen angewendet haben.

Aufgrund all dieser Erkenntnisse halte ich schlussendlich fest, dass bei komplexen Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit folgende drei Aspekte berücksichtigt werden müssen: Die Visualisierungsart, die Eigenschaften des Entscheidungstragenden und die behandelte Thematik.

6.2. Ausblick

Es gibt noch viele weitere Forschungslücken, die man im Bereich der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit in Zukunft zu schliessen hat. In dieser Arbeit wurde z.B. die Unsicherheit nur qualitativ visualisiert. Man müsste nun untersuchen wie Unsicherheit quantitativ dargestellt werden kann. Durch die qualitative Visualisierung wurden die Entscheidungstragenden nur darauf aufmerksam gemacht, dass die Grenzen zwischen den Gefahrenzonen nicht eindeutig sind. Es wurde aber nicht angegeben, wie hoch die Unsicherheit ist. Es braucht deshalb Studien, welche quantitative Darstellungen der Unsicherheit erforschen und untersuchen, welchen Einfluss diese auf eine Entscheidung haben könnten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der meiner Meinung nach noch wenig erforscht wurde, ist die Eigenschaften der Teilnehmenden. St. John et al. (2000), Kobus et al. (2001), Hope & Hunter (2007b) und Roth (2009a) haben in ihren Studien festgestellt, dass das Fachwissen und die Erfahrung zu unterschiedlichen Entscheidungen führen. In meiner Arbeit konnte ich zudem feststellen, dass die Risikoeinstellung ebenfalls einen Einfluss auf das Ergebnis einer Entscheidung mit Visualisierung der Unsicherheit einer Gefahr haben kann. Kann diese Erkenntnis auch bei anderen thematischen Karten festgestellt werden? Lassen sich immer nur die risikofreudigen Entscheidungstragenden von der Visualisierung der Unsicherheit beeinflussen? Wie verändert sich der Prozess der Entscheidungsfindung zwischen risikofreudigen und risikoscheuen Personen? Gibt es noch weitere spezifische Eigenschaften (z.B. das Alter) des Entscheidungstragenden, die bei Entscheidungen mit Visualisierung der Unsicherheit eine wichtige Rolle spielen? Diesen Fragen sollte man in Zukunft nachgehen.

Sowohl diese Studie wie auch die von Roth (2009a) haben gezeigt, dass Laien die Gefahr durch die Visualisierung der Unsicherheit unterschätzen. Es stellt sich somit die Frage, ob es Visualisierungen gibt, welche diese Fehleinschätzung verhindern können. Des Weiteren wäre es interessant zu untersuchen, ob diese Fehleinschätzung auch vorkommt, wenn die Unsicherheit für eine andere Information (z.B. die Temperaturentwicklung) angegeben wird.

Des Weiteren halte ich fest, dass mehr Studien den Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit untersuchen sollten. In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die Teilnehmenden verschiedene Heuristiken angewendet haben, um die Entscheidung zu vereinfachen. Da alle Teilnehmenden der Studie Laien in Bezug auf die Risikoeinschätzung einer Naturkatastrophe waren, stellt sich die Frage, ob bei der gleichen Studie auch Experten Heuristik angewendet hätten.

Die Entscheidungsfindung ist ein komplexer Prozess, der schwierig zu erforschen ist. Wenn man aber die Visualisierung der Unsicherheit zu einem festen Bestandteil von thematischen Karten (z.B. Gefahrenkarten) machen möchte, dann ist es notwendig, diesen Prozess besser zu verstehen. Um dieses Ziel zu erreichen, würde ich die Analyse der Augenbewegungen vorschlagen, die aus zeitlichen Gründen in dieser Arbeit nicht mehr durchgeführt werden konnte. Ich bin davon überzeugt, dass die Augenbewegungen wichtige Hinweise über die Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit geben könnten. Wohin, wie lange und in welcher Reihenfolge der Entscheidungstragende die Karte betrachtet, könnte weitere Informationen über den Prozess der Entscheidungsfindung mit Visualisierung der Unsicherheit erbringen.

7. Literatur

- Abdellaoui, M., Driouchi, A., & l'Haridon, O. (2011). Risk aversion elicitation: reconciling tractability and bias minimization. In: *Theory and Decision*, 71(1), S. 63-80.
- Aerts, J. C., Clarke, K. C., & Keuper, A. D. (2003). Testing popular visualization techniques for representing model uncertainty. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 30(3), S. 249-261.
- Andre, A. D., & Cutler, H. A. (1998). Displaying uncertainty in advanced navigation systems. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(1), S. 31-35.
- Ash, K. D., Schumann III, R. L., & Bowser, G. C. (2014). Tornado warning trade-offs: evaluating choices for visually communicating risk. In: *Weather, climate, and society*, 6(1), S. 104-118.
- Beard, M. K., Buttenfield, B. P., & Clapham, S. B. (1991). Visualization of spatial data quality. In: *NCGIA Initiative*, 7, 91-26.
- Beard, K., & Mackaness, W. (1993). Visual access to data quality in geographic information systems. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 30(2-3), S. 37-45.
- Bertin, J. (1983). *Semiology of Graphics: Diagrams, networks, maps.* (Translation from a French 1967 edition by W. Berg, editor). Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Paris, Editions Gauthier-Villars.
- Blenkinsop, S., Fisher, P., Bastin, L., & Wood, J. (2000). Evaluating the perception of uncertainty in alternative visualization strategies. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 37(1), S. 1-14.
- Boukhelifa, N., Bezerianos, A., Isenberg, T., & Fekete, J. D. (2012). Evaluating sketchiness as a visual variable for the depiction of qualitative uncertainty. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12), S. 2769-2778.
- Brühlmann, E., & Leutenegger, M. (2014). Was kostet Seesicht? *Haus und Wohnen*, S. 94-96.
- Brus, J., Popelka, S., & Svobodova, J. (2012). Exploring Effectiveness of Uncertainty Visualization Methods by Eye-Tracking. In: *Proceeding of the 10th international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Brazil*.
- Cheong, L., Bleisch, S., Kealy, A., Tolhurst, K., Wilkening, T., & Duckham, M. (2016). Evaluating the impact of visualization of wildfire hazard upon decision-making under uncertainty. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 30(7), S. 1377-1404.
- Cliburn, D. C., Feddema, J. J., Miller, J. R., & Slocum, T. A. (2002). Design and evaluation of a decision support system in a water balance application. In: *Computers & Graphics*, 26(6), S. 931-949.
- Crozier, R., & Ranyard, R. (1997). Cognitive process models and explanations of decision making. In: *making: Cognitive models and explanations*, S. 5-20.

-
- Deitrick, S., & Edsall, R. (2006). The influence of uncertainty visualization on decision making: An empirical evaluation. In: *Progress in spatial data handling*, S. 719-738. Springer Berlin Heidelberg.
- Deitrick, S. A. (2007). Uncertainty visualization and decision making: Does visualizing uncertain information change decisions. In: *Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference*, S. 4-10.
- Deitrick, S. (2012). Evaluating Implicit Visualization of Uncertainty for Public Policy Decision. In: *Proceedings AutoCarto 2012*.
- Duckham, M., Mason, K., Stell, J., & Worboys, M. (2001). A formal approach to imperfection in geographic information. In: *Computers, environment and urban systems*, 25(1), S. 89-103.
- Edwards, L. D., & Nelson, E. S. (2001). Visualizing data certainty: A case study using graduated circle maps. In: *Cartographic Perspectives*, (38), S. 19-36.
- Evans, B. J. (1997). Dynamic display of spatial data-reliability: Does it benefit the map user?. In: *Computers & Geosciences*, 23(4), S. 409-422.
- Ewald, J., Maart, S. C., & Musshoff, O. (2012). Messung der subjektiven Risikoeinstellung von Entscheidern: Existieren Methoden-und Personengruppenunterschiede?. In: *Journal of International Agricultural Trade and Development*, 61(3).
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS*. Sage publications.
- Fisher, P. F. (1993). Visualizing uncertainty in soil maps by animation. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 30(2-3), S. 20-27.
- Fisher, D., Popov, I., & Drucker, S. (2012). Trust me, I'm partially right: incremental visualization lets analysts explore large datasets faster. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1673-1682.
- Frei, P. (2015). Der Einfluss von Stress während der Navigation auf die involvierten kognitiven Prozesse und den Gebrauch der mobilen Karten. Masterarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.
- Glaholt, M. G., & Reingold, E. M. (2011). Eye movement monitoring as a process tracing methodology in decision making research. In: *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 4(2), S. 125-146.
- Goodchild, M., Buttenfield, B., & Wood, J. (1994). On introduction to visualizing data validity. In: *Visualization in geographical information systems*, S. 141-149.
- Griethe, H., & Schumann, H. (2006a). The Visualization of Uncertain Data: Methods and Problems. In: *SimVis*, S. 143-156.
- Griethe, H., & Schumann, H. (2006b). Visualizing uncertainty for improved decision making. In: *SimVis*.
- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. In: *Intelligence*, 30(5), S. 425-447.

-
- Holt, C. A., & Laury, S. K. (2002). Risk aversion and incentive effects. In: *American economic review*, 92(5), S. 1644-1655.
- Hope, S., & Hunter, G. J. (2007a). Testing the effects of positional uncertainty on spatial decision-making. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 21(6), S. 645-665.
- Hope, S., & Hunter, G. J. (2007b). Testing the effects of thematic uncertainty on spatial decision-making. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 34(3), S. 199-214.
- Hunter, G. J., & Goodchild, M. F. (1993). Managing uncertainty in spatial databases: Putting theory into practice. In: *Journal of Urban and Regional Information Systems Association*, 5(2), S. 55-62.
- Ishikawa, T., & Takahashi, K. (2013). Relationships between Methods for Presenting Information on Navigation Tools and Users' Wayfinding Behavior. In: *Cartographic Perspectives*, 75, S. 17-28.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. In: *Vision research*, 40(10), S. 1489-1506.
- Isik, M., & Khanna M. (2003). Stochastic Technology, Risk Preferences, and Adoption of Site-Specific Technologies. In: *American Journal of Agricultural Economics*, 85(2), S. 305-317.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. In: *Science*, 185(4157), S. 1124-1131.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. In: *Econometrica: Journal of the econometric society*, S. 263-291.
- Keuper, A. D. (2004). The Influence of Uncertainty Metadata on Decision-making Using geographic Data Products. Doktorarbeit. University of California, Santa Barbara.
- Kinkeldey, C., MacEachren, A. M., & Schiewe, J. (2014a). How to assess visual communication of uncertainty? A systematic review of geospatial uncertainty visualisation user studies. In: *The Cartographic Journal*, 51(4), S. 372-386.
- Kinkeldey, C., Mason, J., Klippel, A., & Schiewe, J. (2014b). Evaluation of noise annotation lines: using noise to represent thematic uncertainty in maps. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 41(5), S. 430-439.
- Kinkeldey, C., Schiewe, J., Gerstmann, H., Götze, C., Kit, O., Lüdeke, M., Taubenböck, H., & Wurm, M. (2015a). Evaluating the use of uncertainty visualization for exploratory analysis of land cover change: A qualitative expert user study. In: *Computers & Geosciences*, 84, S. 46-53.
- Kinkeldey, C., MacEachren, A. M., Riveiro, M., & Schiewe, J. (2015b). Evaluating the effect of visually represented geodata uncertainty on decision-making: systematic review, lessons learned, and recommendations. In: *Cartography and Geographic Information Science*, S. 1-21.
- Kobus, D. A., Proctor, S., & Holste, S. (2001). Effects of experience and uncertainty during dynamic decision making. In: *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(5), S. 275-290.
- Kubíček, P., & Šašínská, Č. (2011). Thematic uncertainty visualization usability—comparison of basic methods. In: *Annals of GIS*, 17(4), S. 253-263.

-
- Kübler, A. (2014). Risk Aversion and Microinsurance: An Experimental Analysis. Masterarbeit. Institut für Versicherungswirtschaft der Universität St. Gallen, St. Gallen.
- Kunz, M., Grêt-Regamey, A., & Hurni, L. (2011). Visualization of uncertainty in natural hazards assessments using an interactive cartographic information system. In: *Natural hazards*, 59(3), S. 1735-1751.
- Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P., & Spielberger, C. D. (1981). Das State-Trait-Angstinventar (Testmappe mit Handanweisung, Fragebogen STAI-G Form X 1 und Fragebogen STAI-G Form X 2). Weinheim: Beltz.
- Lodha, S. K., Wilson, C. M., & Sheehan, R. E. (1996). LISTEN: sounding uncertainty visualization. In: *Proceedings of the 7th conference on Visualization'96*, S. 189.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2001). Geographic information systems and science. John Wiley & Sons Ltd.
- MacEachren, A. M. (1992). Visualizing uncertain information. In: *Cartographic Perspectives*, (13), S. 10-19.
- MacEachren, A. M., Brewer, C. A., & Pickle, L. W. (1998). Visualizing georeferenced data: representing reliability of health statistics. In: *Environment and planning A*, 30(9), S. 1547-1561.
- MacEachren, A. M., Robinson, A., Hopper, S., Gardner, S., Murray, R., Gahegan, M., & Hetzler, E. (2005). Visualizing geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3), S. 139-160.
- MacEachren, A. M., Roth, R. E., O'Brien, J., Li, B., Swingley, D., & Gahegan, M. (2012). Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12), S. 2496-2505.
- Martin, D. (2008). Doing psychology experiments. 7. Edition, Cengage Learning.
- Mayerl, J., & Urban, D. (2010). Binär-logistische Regressionsanalyse. Grundlagen und Anwendung für Sozialwissenschaftler. Schriftenreihe des Instituts für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart (3).
- McGranaghan, M. (1993). A cartographic view of spatial data quality. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 30(2-3), S. 8-19.
- McKenzie, G., Hegarty, M., Barrett, T., & Goodchild, M. (2016). Assessing the effectiveness of different visualizations for judgments of positional uncertainty. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 30(2), S. 221-239.
- Münzer, S., & Hölscher, C. (2011). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zu räumlichen Strategien. In: *Diagnostica*, 57(3), S. 11-125.
- Müri Leupp, R., Rappl, I., Bröhl, A., Walker, U., Fischer, F., & Ingold, K. (2011). Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Zürcher Kantonalbank, Bundesamt für Umwelt.
- Newman, T. S., & Lee, W. (2004). On visualizing uncertainty in volumetric data: techniques and their evaluation. In: *Journal of Visual Languages & Computing*, 15(6), S. 463-491.

-
- Oehler, S. (2005). Visualisierung von Unsicherheiten unter Einbezug grossräumiger Modellierungsdaten. Diplomarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich.
- Pang, A. (2001). Visualizing uncertainty in geo-spatial data. In: *Proceedings of the Workshop on the Intersections between Geospatial Information and Information Technology*, S. 1-14.
- Pang, A. (2008). Visualizing uncertainty in natural hazards. In: *Risk Assessment, Modeling and Decision Support*, S. 261-294.
- Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker*. Cambridge University Press.
- Pyysalo, U., & Oksanen, J. (2014). Visualization of uncertain catchment boundaries and its influence on decision making. Poster. In: *17th AGILE International Conferences on Geographic Information Science*, S. 3-6.
- Retchless, D. P., & Brewer, C. A. (2016). Guidance for representing uncertainty on global temperature change maps. In: *International Journal of Climatology* 36, S. 1143-1159.
- Riveiro, M., Helldin, T., Falkman, G., & Lebram, M. (2014). Effects of visualizing uncertainty on decision-making in a target identification scenario. In: *Computers & graphics*, 41, S. 84-98.
- Roth, R. E. (2009a). The impact of user expertise on geographic risk assessment under uncertain conditions. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), S. 29-43.
- Roth, R. E. (2009b). A Qualitative Approach to Understanding the Role of Geographic Information Uncertainty during Decision Making. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 36(4), S. 315-330.
- Ruginski, I. T., Boone, A. P., Padilla, L. M., Liu, L., Heydari, N., Kramer, H. S., Hegarty, M., Thompson, W. B., House, D. H., & Creem-Regehr, S. H. (2016). Non-expert interpretations of hurricane forecast uncertainty visualizations. In: *Spatial Cognition & Computation*, 16(2), S. 154-172.
- Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. In: *Psychological review*, 63(2), S. 129-138.
- Shi, W. (2010). *Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analysis*. CRC Press.
- Skeels, M., Lee, B., Smith, G., & Robertson, G. G. (2010). Revealing uncertainty for information visualization. In: *Information Visualization*, 9(1), S. 70-81.
- Slocum, T. A., Cliburn, D. C., Feddema, J. J., & Miller, J. R. (2003). Evaluating the usability of a tool for visualizing the uncertainty of the future global water balance. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 30(4), S. 299-317.
- Smith, J., Retchless, D., Kinkeldey, C., & Klippel, A. (2013). Beyond the surface: current issues and future directions in uncertainty visualization research. In: *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*, S. 1-10.
- St John, M., Callan, J., Proctor, S., & Holste, S. T. (2000). *Tactical decision-making under uncertainty: Experiments I and II* (No. TR-1821). Pacific Science and Engineering Group Inc. San Diego CA.
- Thomson, J., Hetzler, E., MacEachren, A., Gahegan, M., & Pavel, M. (2005). A typology for visualizing uncertainty. In: *Electronic imaging 2005*, S. 146-157.

-
- Tobii (2016). User's Manual Tobii Studio. For Tobii Studio Version 3.4.5. Januar 2016.
- Trau, J., & Hurni, L. (2007). Possibilities of incorporating and visualising uncertainty in natural hazard prediction maps. In: *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference (CD-Rom)*.
- Van der Wel, F. J., Hootsmans, R. M., & Ormeling, F. (1994). Visualization of data quality. In: *Visualization in modern cartography*, 2, S. 313-331.
- Viard, T., Caumon, G., & Lévy, B. (2011). Adjacent versus coincident representations of geospatial uncertainty: Which promote better decisions?. In: *Computers & Geoscience*, 37(4), S. 511-520.
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (2007). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press.
- Watkins, E. T. (2000). Improving the analyst and decision-maker's perspective through uncertainty visualization. Masterarbeit. Air Force Institute of technology, Wright Patterson Air Force Base, Ohio.
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?. In: *Nature reviews neuroscience*, 5(6), S. 495-501.
- Wuest & Partner. (2013). Mikrolage neu gesehen. In *Immo-Monitoring* (2), S. 63–76.
- Xu, W., M. Odening M., & Musshoff O. (2008). Indifference Pricing of Weather Derivatives. In: *American Journal of Agricultural Economics* 90 (4), S. 979-993.
- Zhang, J., & Goodchild, M. F. (2002). *Uncertainty in geographical information*. CRC press.
- Zuk, T., & Carpendale, S. (2006). Theoretical analysis of uncertainty visualizations. In: *Electronic Imaging 2006*. International Society for Optics and Photonics.

8. ANHANG

A. Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit

Tabelle 18: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 1

Geometrie	Darstellung	Variante	Buchstaben Rotation	Unsicherheit Kombination
Horizontal	Ohne Unsicherheit	3	4	
	Farbhelligkeit	3	3	1
	Verschwommenheit	3	2	1
	Textur	3	1	1
Vertikal	Ohne Unsicherheit	4	2	
	Farbhelligkeit	4	1	2
	Verschwommenheit	4	3	2
	Textur	4	4	2
Verzweigt	Ohne Unsicherheit	1	1	
	Farbhelligkeit	1	4	3
	Verschwommenheit	1	2	3
	Textur	1	3	3
Geteilt	Ohne Unsicherheit	2	3	
	Farbhelligkeit	2	1	1
	Verschwommenheit	2	2	1
	Textur	2	4	1

Tabelle 19: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 2.

Geometrie	Darstellung	Variante	Buchstaben Rotation	Unsicherheit Kombination
Horizontal	Ohne Unsicherheit	2	2	
	Farbhelligkeit	2	1	1
	Verschwommenheit	2	3	1
	Textur	2	4	1
Vertikal	Ohne Unsicherheit	1	4	
	Farbhelligkeit	1	3	1
	Verschwommenheit	1	1	1
	Textur	1	2	1
Verzweigt	Ohne Unsicherheit	4	1	
	Farbhelligkeit	4	2	3
	Verschwommenheit	4	4	3
	Textur	4	3	3
Geteilt	Ohne Unsicherheit	3	3	
	Farbhelligkeit	3	2	2
	Verschwommenheit	3	4	2
	Textur	3	1	2

Tabelle 20: Zuteilung der Varianten, Rotation der Buchstaben und Unsicherheit für die Karten der Serie 3

Geometrie	Darstellung	Variante	Buchstaben Rotation	Unsicherheit Kombination
Horizontal	Ohne Unsicherheit	4	3	
	Farbhelligkeit	4	2	1
	Verschwommenheit	4	1	1
	Textur	4	4	1
Vertikal	Ohne Unsicherheit	2	2	
	Farbhelligkeit	2	1	3
	Verschwommenheit	2	3	3
	Textur	2	4	3
Verzweigt	Ohne Unsicherheit	3	1	
	Farbhelligkeit	3	3	3
	Verschwommenheit	3	2	3
	Textur	3	4	3
Geteilt	Ohne Unsicherheit	1	4	
	Farbhelligkeit	1	2	1
	Verschwommenheit	1	1	1
	Textur	1	3	1

B. Einverständnisformular der Studie

Universität Zürich - Einwilligungsformular Masterarbeit: Multikriterien-Analyse mithilfe einer Gefahrenkarte
Teilnehmernummer:

Zweck der Studie

Sie sind eingeladen, an einer Studie zu «Multikriterienanalyse mit Gefahrenkarten» teilzunehmen. Wir möchten mit dieser Studie neue Erkenntnisse über die Entscheidungsfindung mithilfe einer Gefahrenkarte und den damit verbundenen kognitiven Prozessen gewinnen. Dieses Experiment wird von Isabella Kübler im Rahmen ihrer Masterarbeit durchgeführt. Die Masterarbeit wird von Prof. Dr. Sara Fabrikant und Dr. Kai-Florian Richter am Geographischen Institut der Universität Zürich geleitet.

Ablauf der Studie

Falls Sie sich entscheiden an der Studie teilzunehmen, werden Sie zuerst gebeten einen Fragebogen zu Ihrer Persönlichkeit auszufüllen sowie drei Tests zu lösen, womit Ihre Orientierungsfähigkeit, Ihr Entscheidungsverhalten und Ihr generelles Empfinden ermittelt wird. Im Hauptteil werden Sie gebeten eine Multikriterienanalyse mithilfe einer Gefahrenkarte am Computer zu durchführen. Während des Experiments werden Ihre Augenbewegungen aufgezeichnet. Das ist für Sie völlig schmerzfrei und ungefährlich. Nach dem Experiment werden Sie gebeten, einen kurzen Fragebogen auszufüllen, in dem Sie ein kurzes Feedback zum Experiment geben. Es werden insgesamt folgende Daten anonymisiert registriert: Antworten zu den gestellten Fragen und der Fragebögen, die Antwortzeiten und Ihre Augenbewegungen. Der Versuch findet im Raum 25-L-9 («Eye Movement Lab») des Geographischen Institut der Universität Zürich statt. Er dauert ungefähr 60 Minuten und beinhaltet keinerlei Risiken für Sie.

Vertraulichkeit der Daten

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

Bekanntgabe der Ergebnisse

Wenn Sie über die Ergebnisse der Studie auf dem Laufenden gehalten werden möchten, bitten wir Sie, dem Versuchsleiter oder 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), diese gerne beantworten. Sie erhalten eine Kopie dieses Dokuments.

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

.....
Unterschrift des Teilnehmers

.....
Unterschrift des Experimentleiters

.....
Vor- und Nachname in Blockschrift

.....
Vor- und Nachname in Blockschrift

.....
Ort / Datum

Universität Zürich - Einwilligungsformular Masterarbeit: Multikriterien-Analyse mithilfe einer Gefahrenkarte

WIDERRUF DER EINWILLIGUNG

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

.....
Unterschrift

.....
Vor- und Nachname in Blockschrift

Ort / Datum

Mit dem Widerruf der Einwilligung beeinträchtigen Sie in keiner Weise Ihre Beziehungen mit der Universität Zürich. Der Widerruf kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen beantragt werden. Den Widerruf der Einwilligung bitte an Prof Dr. Sara I. Fabrikant, Geographische Informationsvisualisierung und Analyse, Geographisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich senden.

C. Fragebogen zu den Vortests

Allgemeine Angaben und Hintergrundinformationen

Nochmals vielen herzlichen Dank für deine Teilnahme an meiner Studie! Jede Teilnahme ist von grosser Wichtigkeit um meine Masterarbeit durchführen zu können!

Die Studie ist in 3 Teile gegliedert:

- 1) allgemeine Angaben und Vortests
- 2) Experiment
- 3) Schlussfragen

Den Fragebogen zu den allgemeinen Angaben und den Vortests wirst du an diesem Laptop durchführen, das Experiment an dem Eye Tracking Computer und die Schlussfragen wieder an diesem Laptop.

Auf den nächsten Seiten findest du allgemeine Fragen zu deiner Person. Die weiteren Teile der Studie werden dir schrittweise erklärt. Wenn du keine Fragen mehr hast, bitte ich dich auf «Zur ersten Frage!» zu drücken.

ID

Frage 1

ID (wird von der Betreuungsperson angegeben):

Allgemeine Angaben

Frage 2

Geschlecht:

- Weiblich
 Männlich

Allgemeine Angaben

Frage 3

Alter:

Allgemeine Angaben

Frage 4

Wurde dir von einer professionellen Fachperson (Optiker, Augenarzt) schon einmal gesagt, dass du eine Sehschwäche hast?

Mehrfachantwort möglich.

- Nein.
 Ja, Farbenblindheit.
 Ja, Brille oder Kontaktlinsen.

Allgemeine Angaben

Frage 5

Wie gross ist deine Erfahrung in folgenden Bereichen?

1 steht für keine Erfahrung, 5 für täglicher Gebrauch/professionell.

	1	2	3	4	5
Kartographie	<input type="radio"/>				
Geographische Informationssysteme (GIS)	<input type="radio"/>				
Gefahrenkarten	<input type="radio"/>				
Räumlichen Analysen (z.B. Standortevaluation)	<input type="radio"/>				

Vortest 1

%GROSS Einführung GROSS%

Bevor du mit dem Hauptteil der Studie anfangen kannst, wirst du gebeten zwei Vortests zu lösen. Mit diesen Vortests werden für meine Studie nützliche Hintergrundinformationen gesammelt.

%GROSS 1. Vortest 1 GROSS%

Stell dir vor, du möchtest mit deinem Ersparten bei einer Lotterie mitmachen. Du teilst dein Geld in zehn gleich grosse Teile auf und spielst damit zehn Mal. Dein Einsatz bei einem Spiel ist also immer gleich gross. Bei jedem Spiel musst du dich für eine von zwei möglichen Lotterien entscheiden. Der Gewinn würde dir in Schweizer Franken ausbezahlt werden. Der Gewinn hängt von dem Resultat eines Wurfes mit einem zehnsseitigen Würfel ab. Die Gewinne und deren Wahrscheinlichkeit unterscheiden sich zwischen Lotterie A und Lotterie B. Bitte beachte diese Unterschiede. Wenn du dich entschieden hast, welche Lotterie du spielen möchtest, kannst du unter der Tabelle entweder Lotterie A oder Lotterie B anwählen.

Das folgende Beispiel sollte dir helfen das Spiel besser zu verstehen:

%BILD%Bsp.png%

Im vorliegenden Beispiel ist es möglich bei Lotterie A 2.- CHF zu gewinnen, wenn der Wurf „1“ ergibt und 1.60 CHF, wenn der Würfel eine Zahl zwischen „2“ und „10“ zeigt.

Bei Lotterie B ist es möglich 3.85 CHF zu gewinnen, wenn der Wurf „1“ ergibt und 0.10 CHF, wenn der Würfel eine Zahl zwischen „2“ und „10“ zeigt.

Deine Aufgabe ist es, dich zwischen Lotterie A oder Lotterie B zu entscheiden. Auf den nächsten zehn Seiten findest du je eine Tabelle mit einem möglichen Spiel. Du hast etwa 10 Minuten Zeit, um die zehn Entscheidungen zu treffen.

Falls du nun keine Fragen mehr hast, kannst du mit dem Test beginnen, indem du auf die "weiter..." Taste drückst!

Vortest 1

Spiel 1

Im ersten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
1	1/10	40.-	9/10	32.-	1/10	77.-	9/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 2

Im zweiten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
2	2/10	40.-	8/10	32.-	2/10	77.-	8/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 3

Im dritten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
3	3/10	40.-	7/10	32.-	3/10	77.-	7/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 4

Im vierten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
4	4/10	40.-	6/10	32.-	4/10	77.-	6/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 5

Im fünften Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
5	5/10	40.-	5/10	32.-	5/10	77.-	5/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 6

Im sechsten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
6	6/10	40.-	4/10	32.-	6/10	77.-	4/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 7

Im siebten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
7	7/10	40.-	3/10	32.-	7/10	77.-	3/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 8

Im achten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
8	8/10	40.-	2/10	32.-	8/10	77.-	2/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 9

Im neunten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
9	9/10	40.-	1/10	32.-	9/10	77.-	1/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 1

Spiel 10

Im zehnten Spiel kannst du zwischen den zwei folgenden Lotterien auswählen:

Spiel	Lotterie A				Lotterie B			
	Wahrscheinlichkeit	Gewinn in CHF						
10	1	40.-	0/10	32.-	1	77.-	0/10	2.-

Welche Lotterie möchtest du spielen?

- Lotterie A
 Lotterie B

Vortest 2

%GROSS 2. Vortest 2 GROSS%

Für jede der folgenden Aussagen, kreuze bitte die Zahl an, welche dem Grad deiner Zustimmung entspricht. Kreuze «7» an, wenn du mit der Aussage vollkommen einverstanden bist, kreuze «1» an, wenn du mit der Aussage überhaupt nicht einverstanden bist. Kreuze «4» an, wenn du die Aussage weder ablehnen noch ihr zustimmen möchtest.

Vortest 2

Aussage 1

Wenn ich durch eine unbekannte Stadt laufe, dann weiss ich, aus welcher Richtung ich gekommen bin und in welche Richtung ich mich bewege.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 2

Wenn mich jemand in meiner Stadt nach dem Weg fragt, dann stelle ich mir meine Stadt wie auf einer Karte vor und ermittle daraus den Weg.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 3

Wenn ich mich durch ein großes Gebäude bewege, dann stelle ich mir dabei eine Art Plan oder Grundriss (Überblicksansicht) vor.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 4

Ich bin sehr gut darin, von meinem gegenwärtigen Standort aus Richtungen zu anderen Orten anzugeben.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 5

In der freien Natur (z. B. Wald, Gebirge) kann ich mich an einen Weg sehr gut erinnern, wenn ich ihn einmal gegangen bin.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 6

Ich kann spontan zeigen, wo Norden, Süden, Osten und Westen liegt.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 7

Ich stelle mir die Umgebung stets wie auf einer „mentalen Karte“ (Überblicksansicht) vor.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 8

Ich finde stets ohne Probleme zu meinem Ziel.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 9

In der freien Natur versuche ich, die räumlichen Gegebenheiten aus der Vogelperspektive zu verstehen.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 10

In einer unbekanntenen Umgebung finde ich mich gut zurecht.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 11

Wenn ich in meiner Stadt unterwegs bin, dann kann ich mir meine Position wie einen Punkt auf meiner „mentalen Karte“ vorstellen.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 12

Ich bin sehr gut darin, mir Wege zu merken und finde auch ohne Mühe den Rückweg.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 13

In einem großen Gebäude habe ich keine Schwierigkeiten, einen Weg nochmals zu gehen, wenn ich den Weg einmal gegangen bin.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 14

Mein Orientierungssinn ist sehr gut.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 15

In meiner Stadt kann ich von einem beliebigen Punkt aus spontan angeben, in welchen Richtungen markante Gebäude oder Bezugspunkte liegen.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 16

Ich verfüge über eine sehr gute Vorstellung von meiner Stadt, wie auf einer Karte.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 17

In der freien Natur kann ich spontan zeigen, wo Norden, Süden, Osten und Westen liegt.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 18

In einem großen Gebäude weiß ich spontan, in welcher Richtung der Eingang liegt.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 2

Aussage 19

Wenn ich mich in einer unbekanntem Stadt bewege, dann bilde ich in meiner Vorstellung eine Art „mentale Karte“.

1=überhaupt nicht einverstanden, 7=sehr einverstanden.

- 1 2 3 4 5 6 7

Vortest 3

Im folgenden Fragebogen findest du eine Reihe von Aussagen, mit denen man sich selbst beschreiben kann. Bitte lese jede Aussage durch und kreuze die Antwort an, die angibt wie du dich im Allgemeinen fühlst. Überlege bitte nicht lange, es gibt kein richtig oder falsch.

Kreuze «1» an, wenn du dich «fast nie» so fühlst, «2», wenn du dich «manchmal» so fühlst, «3», wenn du dich «oft» so fühlst und «4», wenn du dich «fast immer» so fühlst.

Vortest 3

Aussage 1

Ich bin vergnügt.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 2

Ich werde schnell müde.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 3

Mir ist zum Weinen zumute.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 4

Ich glaube, mir geht es schlechter als anderen Leuten.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 5

Ich verpasse günstige Gelegenheiten, weil ich mich nicht schnell genug entscheiden kann.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 6

Ich fühle mich ausgeruht.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 7

Ich bin ruhig und gelassen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 8

Ich glaube, dass mir meine Schwierigkeiten über den Kopf wachsen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 9

Ich mache mir zuviel Gedanken über unwichtige Dinge.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 10

Ich bin glücklich.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 11

Ich neige dazu, alles schwer zu nehmen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 12

Mir fehlt es an Selbstvertrauen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 13

Ich fühle mich geborgen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 14

Ich mache mir Sorgen über mögliches Missgeschick.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 15

Ich fühle mich niedergeschlagen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 16

Ich bin zufrieden.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 17

Unwichtige Gedanken gehen mir durch den Kopf und bedrücken mich.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 18

Enttäuschungen nehme ich so schwer, dass ich sie nicht vergessen kann.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 19

Ich bin ausgeglichen.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Vortest 3

Aussage 20

Ich werde nervös und unruhig, wenn ich an meine derzeitigen Angelegenheiten denke.

1=fast nie, 2=manchmal, 3=oft, 4=fast immer.

- 1 2 3 4

Danke!

Der erste Teil der Studie ist nun fertig, bitte drücke auf "Alles beantwortet - Fragebogen schliessen" und melde dich dann bei der Betreuungsperson, um den zweiten Teil der Studie anzufangen!

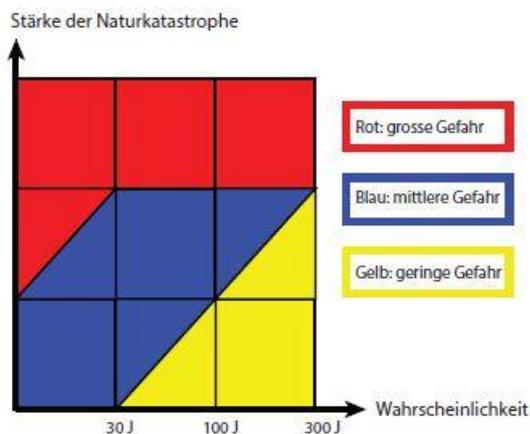
D. Szenario des Hauptexperiments

Szenario

Stell dir vor, du hast letzte Woche ausnahmsweise beim Lotto mitgespielt und gerade erfahren, dass du dabei eine grosse Summe Geld gewonnen hast. Du kannst dir jetzt vieles leisten, was zuvor nicht möglich war. Schon seit langem wünschst du dir, ein Haus zu kaufen. Dies ist nun möglich, Glückwunsch!

Du hast dich mittlerweile für mehrere einzelne Regionen entschieden. In welcher Ortschaften genau du aber dein Haus kaufen möchtest, weisst du noch nicht. Da du noch unentschlossen bist und die Auswahl an Häusern heutzutage sehr gross ist, triffst du deine Entscheidung mithilfe von mehreren Karten. Auf diesen Karten stehen je 4 Häuser zum Verkauf. Deine Aufgabe ist es, jeweils eins dieser Häuser zum Kauf auszuwählen.

Deine Entscheidung wirst du aber nicht mithilfe einer gewöhnlichen Karte treffen, sondern mit einer Gefahrenkarte. In einer Gefahrenkarte ist das dargestellte Gebiet in drei Klassen unterteilt. Diese Klassen stellen die Wahrscheinlichkeit und die Stärke einer Naturkatastrophe in dieser Umgebung dar. Zu den möglichen Naturkatastrophen gehören z.B. Überschwemmungen, Lawinen und Murgänge. Dabei stellt die gelbe Klasse Gebiete mit einer geringen Gefahr dar. In diesen Gebieten ist die Wahrscheinlichkeit einer Naturkatastrophe und dessen Stärke gering. Die blauen Zonen sind Gebiete mit einer mittleren Gefährdung. Die rote Klasse ist für Gebiete, in welchen eine hohe Wahrscheinlichkeit von starken Naturkatastrophen vorliegt. Die folgende Abbildung soll dir helfen die Klassierung besser zu verstehen.



Eigene Darstellung aus Trau & Hurni (2007): Possibilities of incorporating and visualising uncertainty in natural hazard prediction.

Um diese Klassen zu erstellen, werden eine Vielzahl von qualitativen und quantitativen Modellen eingesetzt. Dank diesen Modellen ist eine Simulation und Vorhersage von Naturkatastrophen in allen Schweizer Gebieten möglich. Somit kann man definieren, welche Gebiete wenig und welche hingegen stark von einer Naturkatastrophe betroffen sind. Die Modelle und deshalb auch die Vorhersagen und die Karten beinhalten aber immer gewisse Unsicherheiten.

Auf der Gefahrenkarte ist nicht nur die Position des Hauses angegeben und in welcher Gefahrenzonen es liegt, sondern sie beinhaltet auch eine kurze Beschreibung der Lage und den Kaufpreis. Anhand der 3 Aspekte:

- **Gefahr**
- **Lage**
- **Preis**

bitte ich dich, das Haus zu wählen, welches dir am besten gefällt. Im Folgenden wirst du 16 Karten auf dem Computerbildschirm sehen. Deine Aufgabe ist es, basierend auf die hier präsentierten Informationen, pro Karte ein Haus zu wählen, welches du gerne kaufen möchtest. Stell dir vor, dass die Häuser alle gleich gross sind.

Falls du keine Fragen mehr hast, kannst zu der nächsten Seite blättern. Dort findest du ein Beispiel der Aufgabe, die du durchführen wirst.

E. Beispiel des Hauptexperiments

Hauskauf

Beispiel

Hier siehst du ein Beispiel einer Gefahrenkarte. Rechts der Karte findest du eine kurze Beschreibung und der Preis der Häuser, unter der Karte ist die Legende. Basierend auf die drei Variablen Gefahrenzone, Preis und Lage, bitte ich dich, dich für ein Haus zu entscheiden und dieses unter der Karte anzukreuzen.



Beschreibung der Häuser

Haus A

Preis: 1'200'000 CHF

Lage: Aussicht über das Tal, Abendsonne

Haus B

Preis: 900'000 CHF

Lage: nahe am Fluss

Haus C

Preis: 950'000 CHF

Lage: gute Aussicht auf das Tal

Haus D

Preis: 620'000 CHF

Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Falls du keine Fragen mehr hast, kannst du mit dem Hauskauf beginnen!

F. Hauptexperiment der Serie 1

Hauskauf

Frage 1



Beschreibung der Häuser

Haus A

Preis: 1'550'000 CHF

Lage: ganzes Jahr schattig

Haus B

Preis: 1'070'000 CHF

Lage: gute Bergsicht, Abendsonne

Haus C

Preis: 1'680'000 CHF

Lage: gute Bergsicht

Haus D

Preis: 660'000 CHF

Lage: liegt an einem steilen Hang

Gefahrenstufe

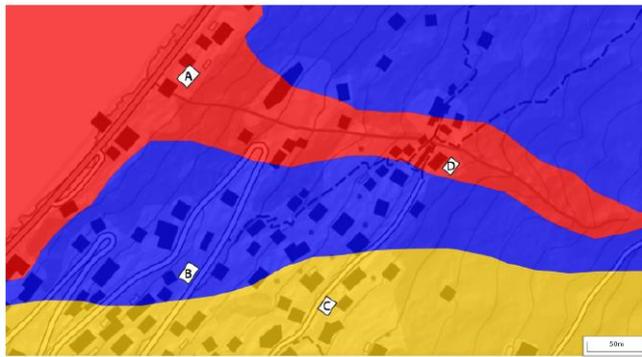
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 2



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'340'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Distanz zum See kleiner als 50m
- Haus B**
Preis: 950'000 CHF
Lage: keine Aussicht auf den See
- Haus C**
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus D**
Preis: 1'300'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

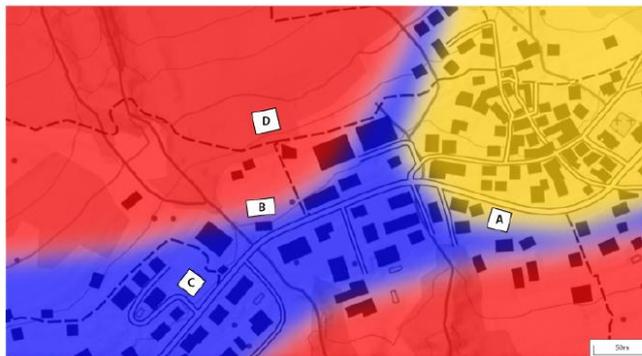
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 3



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'930'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 1'170'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus C**
Preis: 710'000 CHF
Lage: keine Aussicht
- Haus D**
Preis: 750'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das Tal, nahe zur Natur

Gefahrenstufe

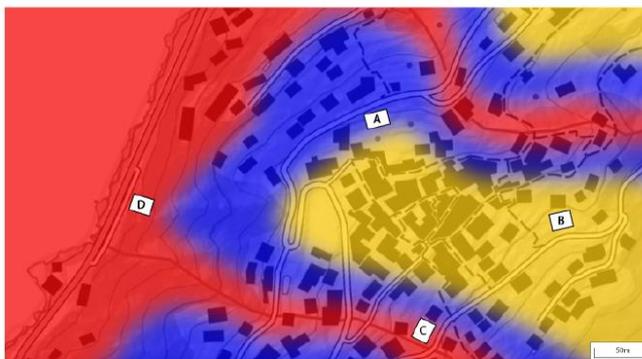
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 4



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 950'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'410'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus C**
Preis: 1'310'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus D**
Preis: 1'390'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Distanz zum See kleiner als 50m

Gefahrenstufe

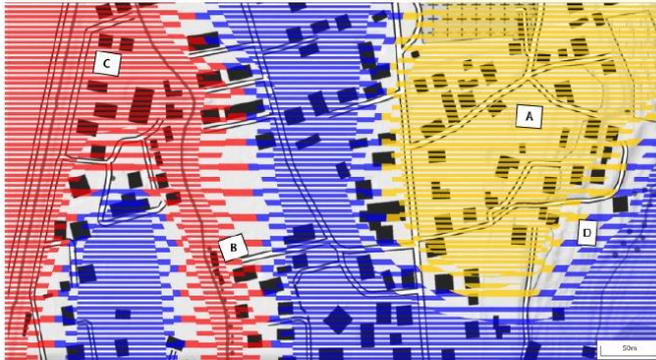
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 5



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'350'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'300'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus C**
Preis: 1'330'000 CHF
Lage: gute Seesicht, ganzes Jahr sonnig
- Haus D**
Preis: 940'000 CHF
Lage: keine Seesicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 6



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'150'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 740'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus C**
Preis: 780'000 CHF
Lage: nahe am Fluss, ganzes Jahr sonnig
- Haus D**
Preis: 1'870'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig, gute Seesicht

Gefahrenstufe

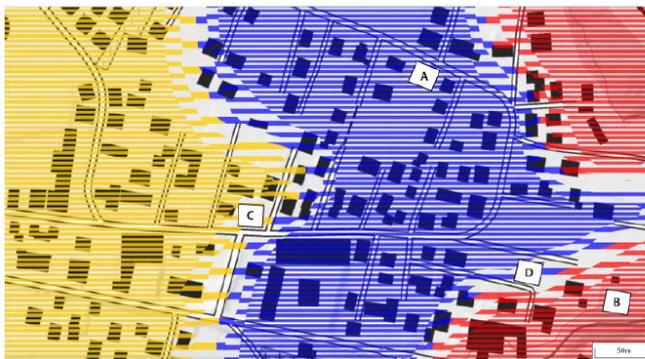
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 7



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 730'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 790'000 CHF
Lage: Aussicht auf die Ebene, ganzes Jahr sonnig
- Haus C**
Preis: 1'860'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig, Abendsonne
- Haus D**
Preis: 1'120'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Gefahrenstufe

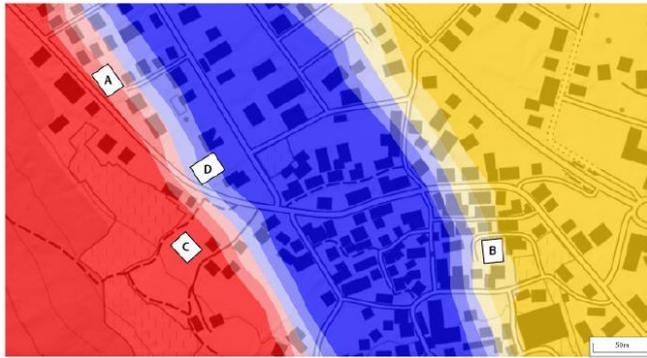
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 8



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 710'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 1'580'000 CHF
Lage: keine Aussicht
- Haus C**
Preis: 1'100'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das ganze Tal, nahe der Natur
- Haus D**
Preis: 1'700'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das Tal

Gefahrenstufe

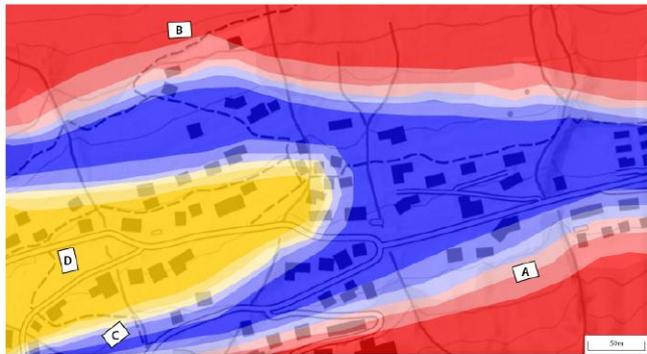
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 9



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'350'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'390'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus C**
Preis: 980'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'410'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 10



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 620'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'440'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus C**
Preis: 570'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus D**
Preis: 1'480'000 CHF
Lage: sehr gute Seesicht, Abendsonne

Gefahrenstufe

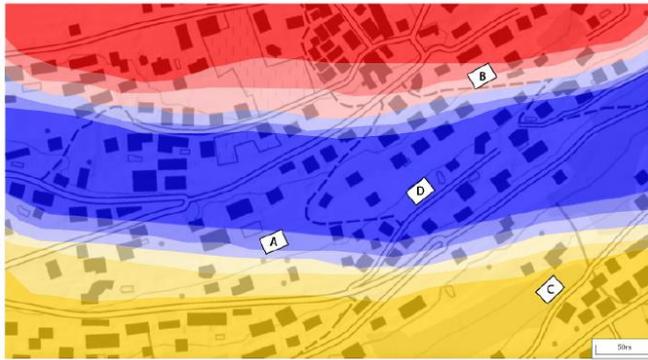
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 11



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'500'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 630'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig
- Haus C**
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal
- Haus D**
Preis: 530'000 CHF
Lage: keine Aussicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 12



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 540'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'470'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus C**
Preis: 650'000 CHF
Lage: liegt sehr nahe am See
- Haus D**
Preis: 1'430'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

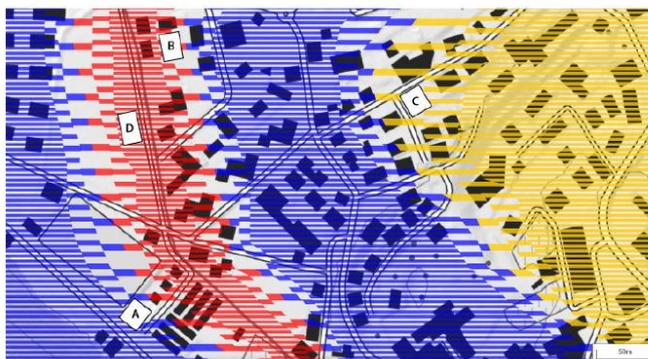
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 13



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'720'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig
- Haus B**
Preis: 680'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus C**
Preis: 1'600'000 CHF
Lage: liegt in einer Vertiefung
- Haus D**
Preis: 1'070'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig, liegt direkt am Fluss

Gefahrenstufe

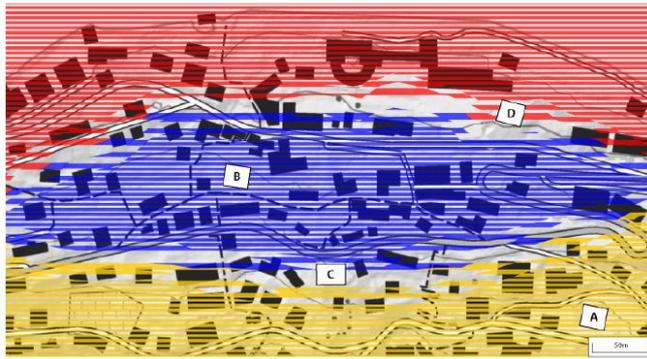
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 14



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'450'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 520'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus C**
Preis: 1'500'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus D**
Preis: 570'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 15



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 770'000 CHF
Lage: Exposition nach Süden, nahe am Fluss
- Haus B**
Preis: 1'950'000 CHF
Lage: Exposition nach Süden, Aussicht auf die Ebene
- Haus C**
Preis: 1'160'000 CHF
Lage: Exposition nach Süden
- Haus D**
Preis: 720'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 16



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'360'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, unverbaubare Aussicht
- Haus B**
Preis: 1'000'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig
- Haus C**
Preis: 1'390'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'330'000 CHF
Lage: keine Bergsicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

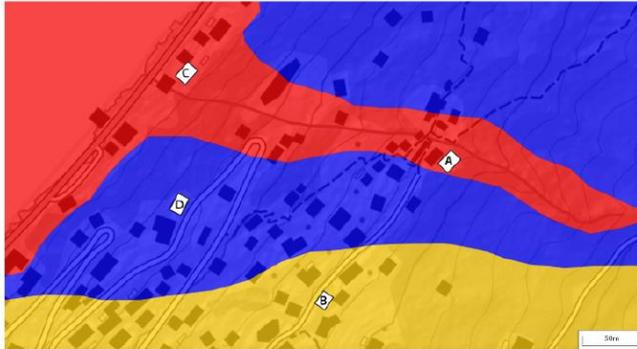
Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

G. Hauptexperiment der Serie 2

Hauskauf

Frage 1



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 670'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 1'650'000 CHF
Lage: keine Aussicht auf den See
- Haus C**
Preis: 1'100'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Distanz zum See kleiner als 50m
- Haus D**
Preis: 1'730'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 2



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 650'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'470'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus C**
Preis: 610'000 CHF
Lage: keine Aussicht
- Haus D**
Preis: 1'500'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 3



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'450'000 CHF
Lage: gute Seesicht, ganzes Jahr sonnig
- Haus B**
Preis: 650'000 CHF
Lage: nahe am Fluss
- Haus C**
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus D**
Preis: 540'000
Lage: eingeschränkte Seesicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 4



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 520'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus B
Preis: 1'470'000 CHF
Lage: Exposition nach Süden, unverbaubare Aussicht

Haus C
Preis: 580'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Haus D
Preis: 1'450'000 CHF
Lage: Exposition nach Süden

Gefahrenstufe

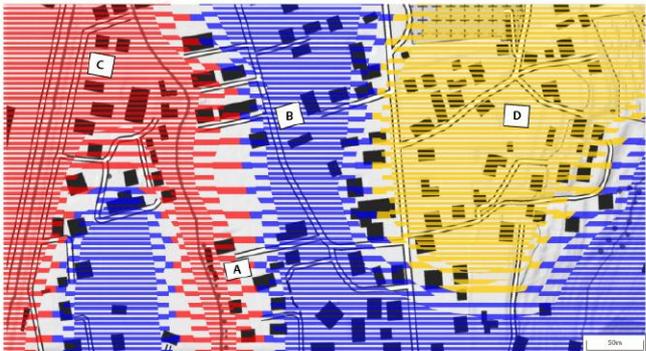
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 5



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'040'000 CHF
Lage: gute Seesicht, ganzes Jahr sonnig

Haus B
Preis: 1'600'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Haus C
Preis: 710'000 CHF
Lage: keine Seesicht

Haus D
Preis: 1'570'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

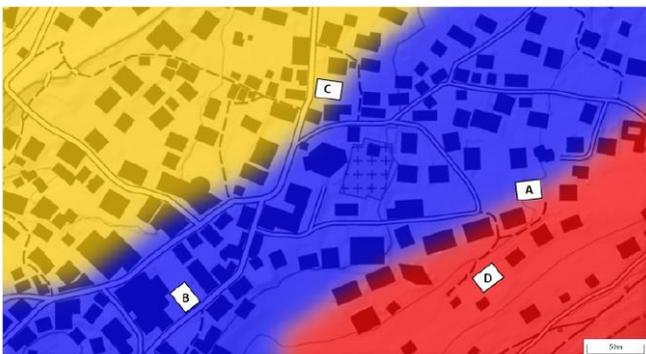
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 6



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'360'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, unverbaubare Aussicht

Haus B
Preis: 1'000'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus C
Preis: 1'390'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Haus D
Preis: 1'320'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang

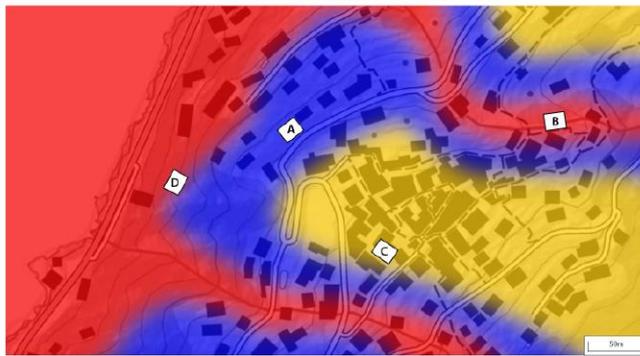
Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 7



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'700'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 700'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus C**
Preis: 1'680'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'100'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Distanz zum See kleiner als 50m

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 8



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'140'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 760'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus C**
Preis: 770'000 CHF
Lage: gute Seesicht, sehr nahe am See
- Haus D**
Preis: 1'980'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne

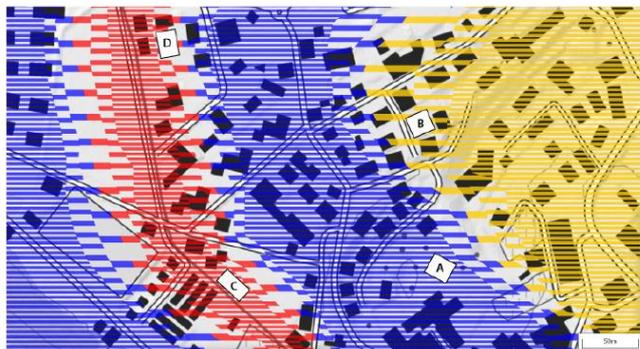
Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 9



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 960'000 CHF
Lage: liegt in einer Vertiefung, ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: Abendsonne
- Haus C**
Preis: 1'320'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: nahe am Fluss, Abendsonne

Gefahrenstufe

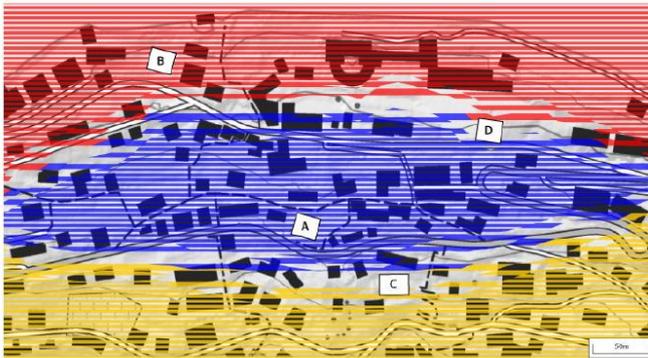
- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 10



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 720'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht

Haus B
Preis: 850'000 CHF
Lage: sehr gute Seesicht,
nahe am See

Haus C
Preis: 1'910'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne

Haus D
Preis: 1'170'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

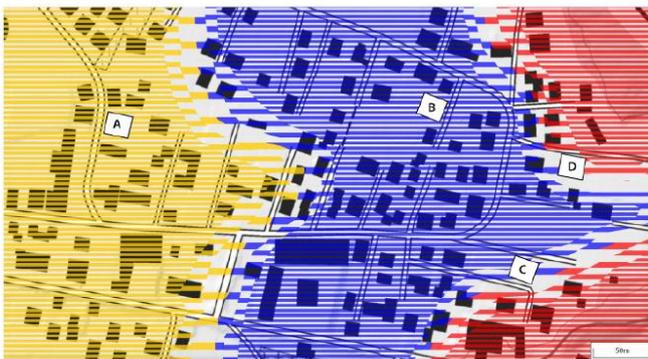
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 11



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'400'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Haus B
Preis: 620'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus C
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: Aussicht auf die Ebene,
ganzes Jahr sonnig

Haus D
Preis: 650'000 CHF
Lage: Aussicht auf die Ebene

Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 12



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'310'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang

Haus B
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, Abendsonne

Haus C
Preis: 980'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus D
Preis: 1'400'000 CHF
Lage: gute Bergsicht

Gefahrenstufe

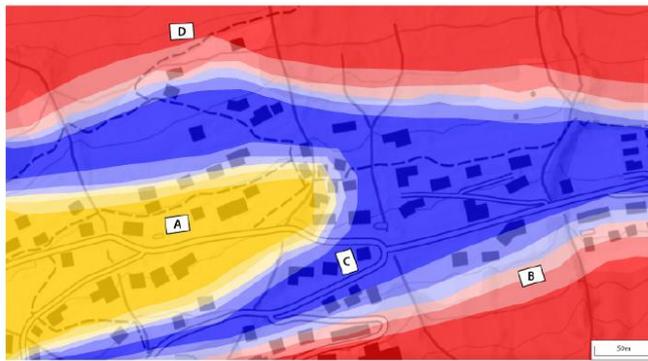
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 13



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'610'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 1'080'000 CHF
Lage: gute Sicht über das Tal, Abendsonne
- Haus C**
Preis: 1'700'000 CHF
Lage: Abendsonne
- Haus D**
Preis: 650'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 14



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'400'000 CHF
Lage: Abendsonne
- Haus B**
Preis: 1'300'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang
- Haus C**
Preis: 1'340'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das Tal, nahe der Natur
- Haus D**
Preis: 920'000 CHF
Lage: keine Aussicht

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 15



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'980'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 1'140'000 CHF
Lage: Seesicht
- Haus C**
Preis: 720'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus D**
Preis: 770'000 CHF
Lage: gute Seesicht, liegt sehr nahe am See

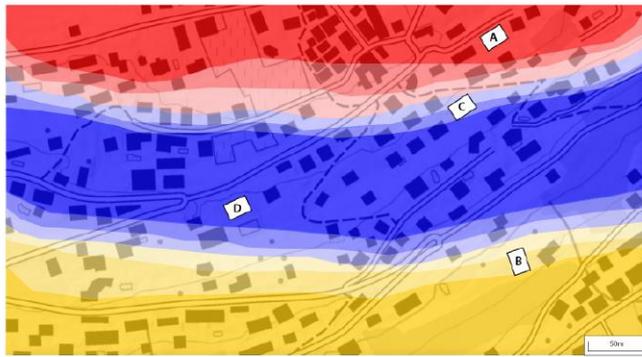
Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf
Frage 16



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 800'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 1'860'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal, nahe zur Natur
- Haus C**
Preis: 1'120'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal
- Haus D**
Preis: 710'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

H. Hauptexperiment der Serie 3

Hauskauf
Frage 1



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'330'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 970'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus C**
Preis: 1'360'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus D**
Preis: 1'300'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang

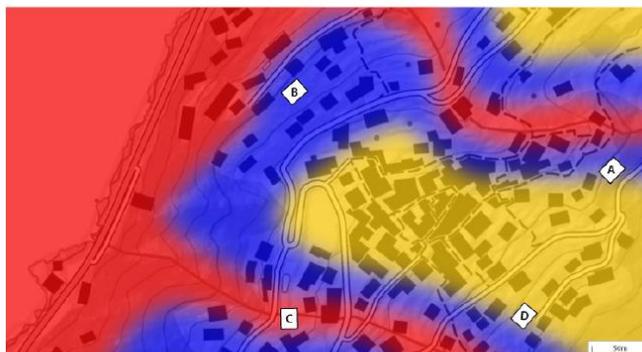
Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 2



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 630'000 CHF
Lage: keine Seesicht
- Haus B**
Preis: 1'490'000 CHF
Lage: gute Seesicht, liegt sehr nahe am See
- Haus C**
Preis: 640'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus D**
Preis: 1'440'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

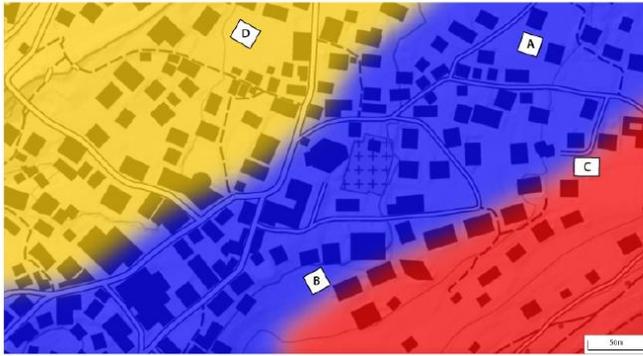
- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 3



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'160'000 CHF
Lage: Abendsonne
- Haus B**
Preis: 740'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus C**
Preis: 790'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, unverbaubare Aussicht
- Haus D**
Preis: 1'930'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, Abendsonne

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 4



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'310'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 1'350'000 CHF
Lage: nahe am Fluss, ganzes Jahr sonnig
- Haus C**
Preis: 1'000'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig

Gefahrenstufe

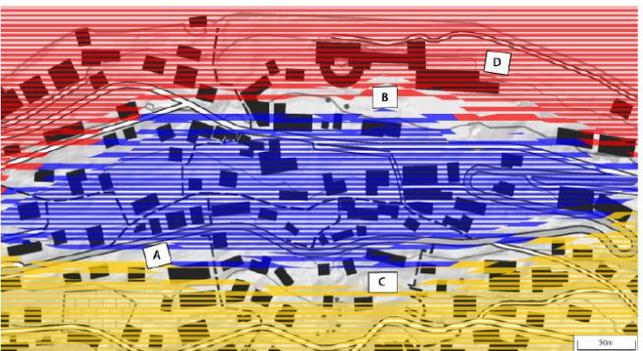
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 5



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'720'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 750'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht
- Haus C**
Preis: 1'710'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'100'000 CHF
Lage: gute Seesicht, sehr nahe zum See

Gefahrenstufe

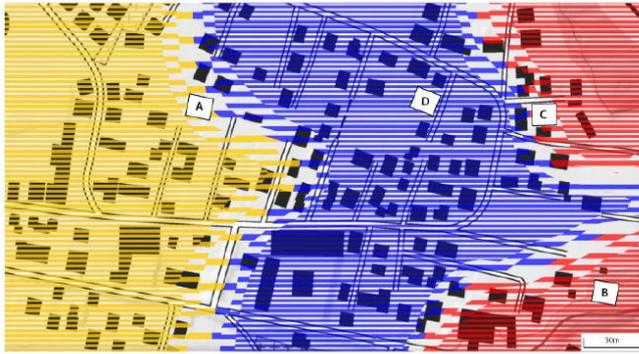
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 6



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'300'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig
- Haus B**
Preis: 1'340'000 CHF
Lage: liegt an einem steilen Hang
- Haus C**
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: Aussicht auf die Ebene, ganzes Jahr sonnig
- Haus D**
Preis: 960'000 CHF
Lage: keine Aussicht

Gefahrenstufe

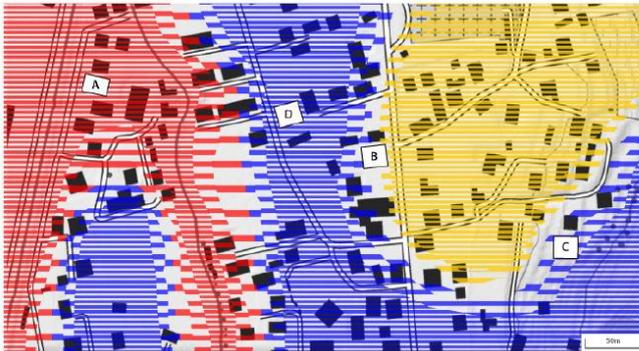
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 7



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 580'000 CHF
Lage: nahe zum Fluss
- Haus B**
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus C**
Preis: 510'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 1'460'000 CHF
Lage: gute Seesicht, ganzes Jahr sonnig

Gefahrenstufe

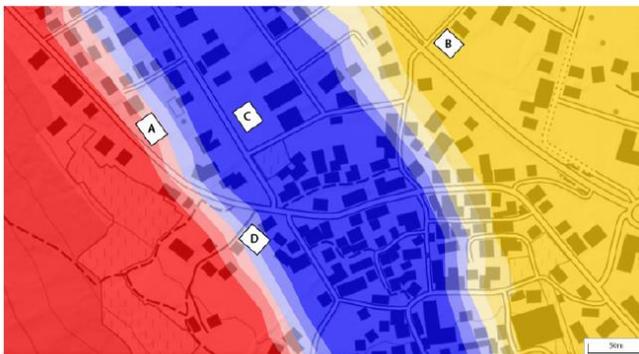
- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 8



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 840'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das Tal, nahe der Natur
- Haus B**
Preis: 1'830'000 CHF
Lage: gute Aussicht auf das Tal, Abendsonne
- Haus C**
Preis: 1'140'000 CHF
Lage: Abendsonne
- Haus D**
Preis: 820'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr
- Mittlere Gefahr
- Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf
Frage 9



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'810'000 CHF
Lage: gute Bergsicht, Abendsonne
- Haus B**
Preis: 1'170'000 CHF
Lage: gute Bergsicht
- Haus C**
Preis: 750'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus D**
Preis: 770'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal, nahe zur Natur

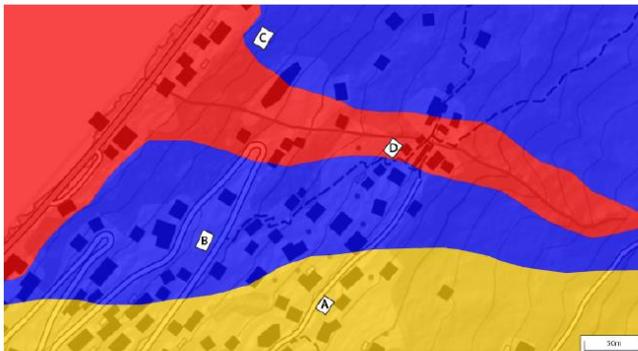
Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 10



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 1'440'000 CHF
Lage: gute Seesicht
- Haus B**
Preis: 570'000 CHF
Lage: keine Aussicht auf den See
- Haus C**
Preis: 1'470'000 CHF
Lage: gute Seesicht, Distanz zum See kleiner als 50m
- Haus D**
Preis: 610'000 CHF
Lage: gute Seesicht

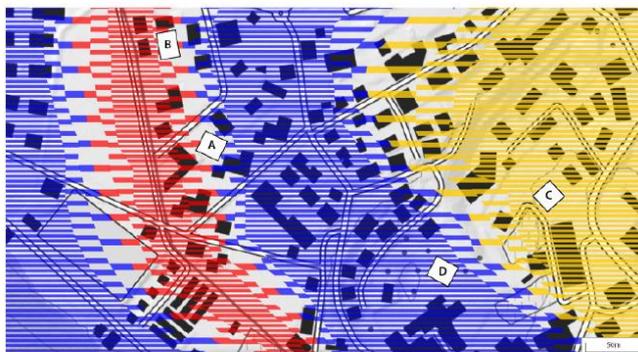
Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf
Frage 11



Beschreibung der Häuser

- Haus A**
Preis: 800'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig
- Haus B**
Preis: 820'000 CHF
Lage: nahe am Fluss, Abendsonne
- Haus C**
Preis: 1'970'000 CHF
Lage: nahe am kleinen Fluss, Abendsonne
- Haus D**
Preis: 1'200'000 CHF
Lage: Abendsonne

Gefahrenstufe

- Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
 B
 C
 D

Hauskauf

Frage 12



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 980'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus B
Preis: 1'420'000 CHF
Lage: nahe zur Natur

Haus C
Preis: 1'370'000 CHF
Lage: liegt in einer Vertiefung

Haus D
Preis: 1'390'000 CHF
Lage: ganzes Jahr sonnig,
nahe zur Natur

Gefahrenstufe

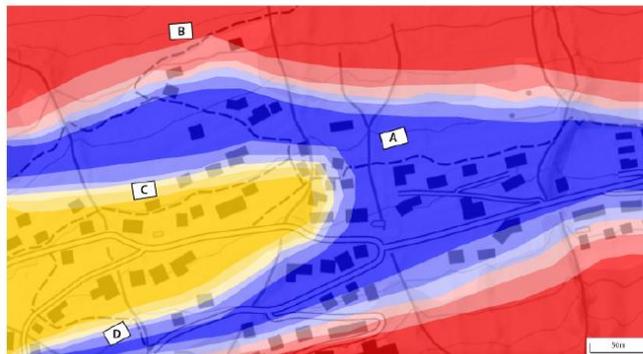
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 13



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'450'000 CHF
Lage: gute Seesicht,
ganzes Jahr sonnig

Haus B
Preis: 640'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Haus C
Preis: 1'410'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Haus D
Preis: 580'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

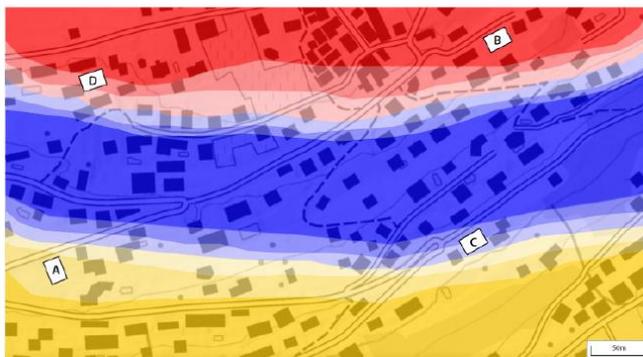
■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 14



Beschreibung der Häuser

Haus A
Preis: 1'590'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus B
Preis: 1'090'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal,
Abendsonne

Haus C
Preis: 1'620'000 CHF
Lage: gute Sicht auf das Tal

Haus D
Preis: 660'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 15



Beschreibung der Häuser

Haus A

Preis: 1'080'000 CHF
Lage: gute Seesicht,
liegt sehr nahe am See

Haus B

Preis: 1'700'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Haus C

Preis: 670'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht

Haus D

Preis: 1'670'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

Hauskauf

Frage 16



Beschreibung der Häuser

Haus A

Preis: 720'000 CHF
Lage: eingeschränkte Seesicht

Haus B

Preis: 1'680'000 CHF
Lage: ganzes Jahr schattig

Haus C

Preis: 1'070'000 CHF
Lage: gute Seesicht,
sehr nahe am See

Haus D

Preis: 1'710'000 CHF
Lage: gute Seesicht

Gefahrenstufe

■ Hohe Gefahr ■ Mittlere Gefahr ■ Niedrige Gefahr

Welches Haus möchtest du kaufen?

- A
- B
- C
- D

I. Schlussfragen

Vorwort

Schlussfragen

Zum Schluss möchte ich dir noch ein paar Fragen zum Hauptteil der Studie stellen. Bitte drücke auf die "Zur ersten Frage!" Taste.

Frage 1

Welcher Aspekt war für dich am wichtigsten bei deiner Entscheidung für den Hauskauf?

Positioniere zu oberst den Aspekt, welcher für dich am wichtigsten war und zu unterst den unwichtigsten Aspekt.

Ihre Rangliste:

Preis
Lage/Beschreibung
Gefahrenzone

Frage 2

Hast du noch andere Aspekte (z.B. Strassen) bei deiner Entscheidung berücksichtigt? Wenn ja, liste bitte diese Aspekte hier unten auf.

Frage 3

Wie bist du bei deiner Entscheidung vorgegangen? Hattest du eine Strategie? Erkläre diese mit deinen eigenen Worten.

Frage 4

Wie schwierig hast du die Hauskaufaufgabe gefunden?

1 steht für sehr einfach, 5 für sehr schwierig.

1 2 3 4 5

Frage 5

Wie hast du die verschiedenen Visualisierungen der Grenzen interpretiert? Was hat die Visualisierung deiner Meinung nach zu bedeuten?

Frage 6

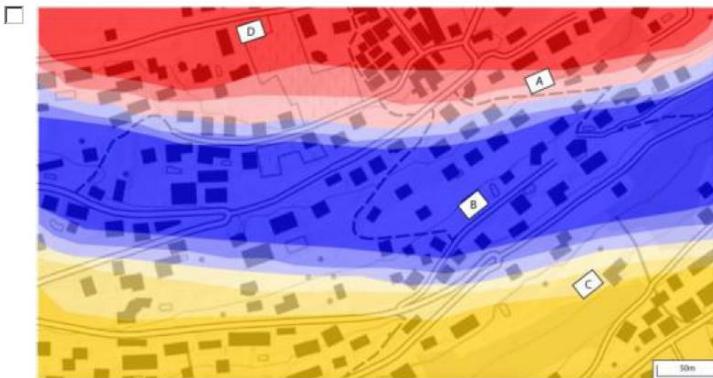
Welche Darstellung der Grenze würdest du am ehesten mit Unsicherheit in Zusammenhang bringen?

Mehrfachantwort möglich

Grenze als einfache Linie



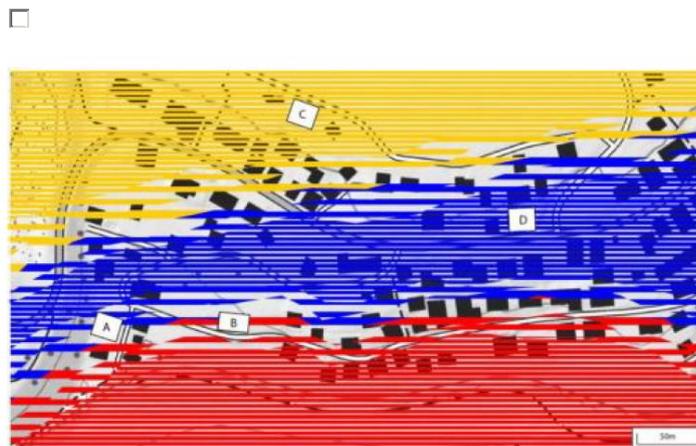
Farbhelligkeit



Grenze verschwommen



Textur



Frage 7

Hast du jemals in deinem Leben ein Haus gekauft oder warst du bei einem Hauskauf näher involviert?

- Ja
- Nein

Frage 8

Falls du die vorherige Frage mit Ja beantwortet hast, bitte ich dich zu erklären, wie du bei dem Hauskauf involviert warst und eventuell wie du bei deiner Entscheidung vorgegangen bist.

Frage 9

Hast du eine der dargestellten Ortschaften erkannt?

- Ja
- Nein

Frage 10

Falls du Frage 10 mit Ja beantwortet hast, bitte ich dich anzugeben, welche Dörfer du erkannt hast.

Danke!

Schlussfragen

Nochmals vielen herzlichen Dank für deine Teilnahme!
Bitte drücke auf "alles beantwortet - Umfrage schliessen" und melde dich bei der Betreuungsperson.

J. E-Mail an Teilnehmenden

Hallo X

Wie du vielleicht weisst, arbeite ich zurzeit an meiner Masterarbeit in der GIVA- Abteilung und für meine Eye-Tracking Studie suche ich noch Probanden, die an meinem Experiment teilnehmen möchten.

Die Studie untersucht den Einfluss von verschiedenen Visualisierungsmethoden in einer Gefahrenkarte auf Entscheidungen und dauert ca. 45-60 Minuten.

Es wäre super, wenn du dir dafür Zeit nehmen könntest und mich bei der Ausführung meiner Arbeit unterstützen würdest.

Falls du an einem der unter folgendem Link aufgeführten Terminen Zeit hättest, kannst du dich für einen Termin eintragen. Falls du keine Zeit hast, kein Problem, aber wenn du mir einen anderen Zeitpunkt vorschlagen möchtest, bin ich flexibel :-)

Doodle Link: <http://doodle.com/poll/pbtxp3rnpmw2ungg>

Ich danke dir ganz herzlich und falls du Fragen hast, bin ich per Mail oder Telefon erreichbar.

Persönliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, sie oder Teile davon zuvor nicht für andere Qualifikationsarbeiten verwendet und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Isabella Kübler

Via Carabelli Artisti 39

6874 Castel San Pietro

11-733-581

isabella.kuebler@outlook.ch