



**Universität
Zürich^{UZH}**

Geographisches Institut

Der Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck

GEO 511 Masterarbeit

Eingereicht durch
Michelle Korporaal
12-721-320

Betreut durch

Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant
Prof. Dr. Ross Purves

Fakultätsvertretung

Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant

29.09.2017

Geographisches Institut, Universität Zürich

Zusammenfassung

In unserem Alltag sind wir mit einer Vielzahl an Entscheidungsproblemen konfrontiert, wovon ein Grossteil einen räumlichen Bezug hat. Für diese nehmen wir häufig Karten zu Hilfe. Wie praktisch alle Informationen sind allerdings auch die in den Karten visualisierten Informationen mit Unsicherheiten behaftet. Ist bei Entscheidungsträgern das Wissen über die in Karten inhärenten Unsicherheiten nicht vorhanden, kann es zu zweifelhaften, falschen oder irreführenden Schlüssen bezüglich der räumlichen Informationen kommen, weshalb die Unsicherheiten den Entscheidungsträgern kommuniziert werden sollten. Es stellt sich jedoch die Frage, ob und inwiefern Unsicherheitsvisualisierungen das Ergebnis von Entscheidungen sowie die vorhergehenden Entscheidungsprozesse beeinflussen. Da Entscheidungsträger häufig unter einem gewissen Zeitdruck stehen, ist zudem von Interesse, wie die obenstehenden Fragen zu beantworten sind für Entscheidungen, die unter Zeitdruck gefällt werden.

Um zu untersuchen, welchen Effekt Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungsprozesse und Entscheidungen haben, die entweder ohne oder unter Zeitdruck gefällt werden, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Studie mit 34 Teilnehmern durchgeführt. In der Studie lösten die Teilnehmer je acht kartenbasierte Entscheidungsaufgaben entweder ohne oder mit Unsicherheitsvisualisierungen. Eine Gruppe von Teilnehmern konnte jeweils ohne Zeitdruck zu einer Entscheidung gelangen, während die andere Gruppe von Teilnehmern unter Zeitdruck gesetzt wurde. Thematisch ging es in den Entscheidungsaufgaben um Unsicherheiten in Hangneigungsberechnungen, die von Unsicherheiten im digitalen Höhenmodell herrühren. Da mehrere Kriterien für die Entscheidungen berücksichtigt werden mussten, handelte es sich um komplexe, multikriterielle Entscheidungsprobleme. Die Unsicherheiten wurden in allen acht Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen mittels einer punktbasierten Textur dargestellt.

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl einen Effekt hatten auf Entscheidungen, die ohne Zeitdruck gefällt wurden, wie auch auf diejenigen, die unter Zeitdruck fielen. Die Art und Weise, wie sich die Entscheidungen beider Gruppen aufgrund der Unsicherheitsvisualisierungen veränderten, lässt vermuten, dass dabei die Verlustaversion eine Rolle spielte, also befürchtet wurde, dass Entscheidungen im Zusammenhang mit Unsicherheiten eher zu falschen als zu richtigen Ergebnissen führen würden. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch die Entscheidungsprozesse verändern. Bei Entscheidungen, die ohne Zeitdruck getroffen wurden, führten die Unsicherheitsvisualisierungen z.B. zu längeren Entscheidungszeiten. Mithilfe von *Eye Tracker*-Daten konnte gezeigt werden, dass es Differenzen in den Entscheidungsprozessen der zwei Gruppen gibt, was darauf hindeutet, dass die Unsicherheiten von ihnen auf unterschiedliche Art und Weisen erfasst wurden. Da sich jedoch die endgültigen Entscheidungen der zwei Gruppen sehr ähnlich sind, wird angenommen, dass sie den Unsicherheitsvisualisierungen schliesslich die gleiche Bedeutung beimessen.

Schlagwörter: Unsicherheitsvisualisierungen, Ergebnis einer Entscheidung, Entscheidungsprozess, Zeitdruck

Summary

In our everyday life we are faced with numerous decision problems. Many of them are of a spatial nature. For such decisions we often make use of maps. The geospatial data in maps contain, like nearly all other data, uncertainties. If decision-makers are not informed about those uncertainties they may draw dubious, inaccurate or misleading conclusions from maps, which is why uncertainties in maps should be communicated to decision-makers. However, this raises the questions whether and how uncertainty visualizations influence decision-making processes and their outcomes. Decision-makers often have to perform under time pressure. Therefore, it is of further interest, which effects uncertainty visualizations have on decisions taken under time pressure.

In order to research how uncertainty visualizations influence decision-making processes and decisions taken either without or under time pressure, an empirical study with 34 participants was conducted within the framework of this thesis. The participants had to take eight map-based decisions without uncertainty visualizations and eight decisions with uncertainty visualizations. The participants were assigned to two different groups. One group had to take the decisions without time pressure while the other group was under time pressure when taking their decisions. Thematically the decision problems were about uncertainties in slope maps that originate from uncertainties in a digital elevation model. Since the participants had to take several criteria into account, the decisions were multi-criteria decisions. In all eight maps with uncertainty visualizations the uncertainties were visualized using a point based texture overlay.

The results of this study disclose that uncertainty visualizations influence decisions taken without time pressure as well as decisions taken under time pressure. The way in which the uncertainty visualizations changed the outcomes of the decision suggests that the participants, due to the loss aversion, probably gave a greater weight to the possible negative results of the uncertainties than to the possible positive results of them. In other words, they feared that decisions in connection with uncertainties would lead to wrong rather than to correct results. Furthermore, the results prove that uncertainty visualizations also have an effect on the decision-making processes. Introducing uncertainty visualizations resulted e.g. in longer decision times for decisions taken without time pressure. By means of eye tracking analysis, differences in the decision-making processes between decisions taken either without or under time pressure were identified. This indicates that the uncertainty information was acquired differently by both groups. Since the outcomes of the decisions from both groups rarely differ, it is however assumed that both groups attribute the same meaning to the visualized uncertainties.

Keywords: uncertainty visualization, decision-making, decision-making process, time pressure

Visuelle Zusammenfassung

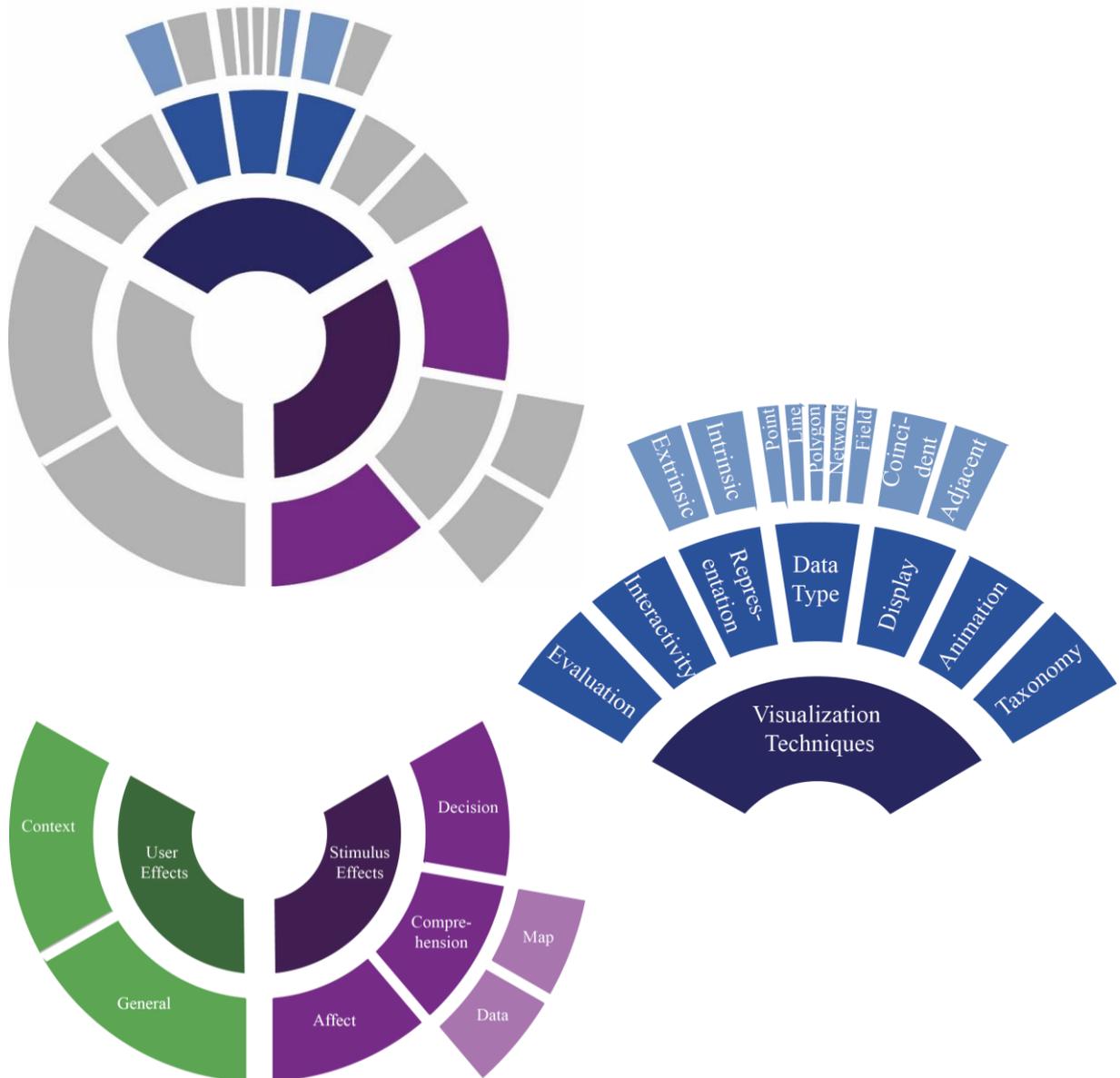


Abb. 1: Visuelle Zusammenfassung nach Mason *et al.* (2017). Die Grafik oben links ist eine visuelle Zusammenfassung dieser Arbeit (zum Verständnis vgl. Haupttext). Die eingefärbten Felder werden in dieser Arbeit thematisiert. Die Grafiken in der Mitte und unten zeigen, was jedes Feld zu bedeuten hat.

Die obenstehende Abbildung ist eine visuelle Zusammenfassung dieser Masterarbeit. Entwickelt wurde diese spezielle Art von Zusammenfassung durch Mason *et al.* (2017). Sie ist auf alle wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema räumliche Unsicherheitsvisualisierungen anwendbar. Das Ziel dieser visuellen Zusammenfassung ist einerseits, der Leserschaft einen schnellen Überblick über die spezifischen Themen, die behandelt werden, zu geben, und andererseits einen Beitrag zu leisten zur besseren Organisation des sehr weiten Forschungsgebiets über räumliche Unsicherheitsvisualisierungen. Dabei wird vorausgesetzt, dass diese Methode in Zukunft konsequent eingesetzt wird.

Danksagung

Eine Vielzahl an Personen haben durch ihre tatkräftige Hilfe und Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Jede einzelne namentlich zu nennen, würde den Rahmen einer Danksagung leider sprengen. Folgenden Personen(-gruppen) möchte ich jedoch explizit meinen grossen Dank aussprechen:

Vor allem möchte ich mich bei meinen Betreuungspersonen Prof. Dr. Sara I. Fabrikant und Prof. Dr. Ross Purves bedanken, die mich von der ersten Idee bis zur Fertigstellung dieser Arbeit stets unterstützt haben mit ihrem Rat, ihren konstruktiven Rückfragen und hilfreichem Feedback.

Des Weiteren möchte ich Dr. Arzu Cöltekin danken für die hilfreichen Erläuterungen zum Gebrauch des *Eye Trackers*.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen meiner Studie: Ohne ihre uneigennützigte Hilfe wäre die Masterarbeit nicht zustande gekommen. Auch wenn viele von ihnen aus meinem Familien- und Freundeskreis stammen, erachte ich es nicht als selbstverständlich, dass sie so zahlreich daran teilgenommen haben.

Ein grosses Dankeschön geht ausserdem an Anna Graf und Teresa Steinert. Sie haben mich bei dieser Arbeit nicht nur durch ihre Mithilfe beim Pretest und zahlreichen kritischen Feedbacks unterstützt, sondern ganz allgemein viel dazu beigetragen, dass das gesamte Geographiestudium zu einem unvergesslichen Erlebnis wurde.

Ein weiterer Dank geht an Cédric Weder für den starken emotionalen Rückhalt während des Studiums und dieser Arbeit.

Im Speziellen möchte ich mich bei meiner Familie Elsbeth, René und Brian Korporaal bedanken, die mir nicht nur das Studium erst ermöglicht hat, sondern auch immer an mich glaubte und mich während der gesamten Zeit unterstützte. Hartelijk bedankt!

Inhalt

Abbildungen.....	XIII
Tabellen.....	XVII
Glossar und Abkürzungen.....	XIX
1. Einleitung.....	1
1.1. Problemdefinition und Motivation	1
1.2. Ziel der Arbeit	4
1.3. Aufbau der Arbeit.....	5
2. Forschungskontext	6
2.1. Definition des Konzepts «Unsicherheit»	6
2.2. Quellen der Unsicherheit	9
2.3. Arten der Unsicherheit.....	10
2.4. Unsicherheiten in digitalen Höhenmodellen und Hangneigungsberechnungen	11
2.5. Kommunikation von Unsicherheiten	13
2.6. Visualisierung der Unsicherheit	15
2.6.1. Intrinsisch/extrinsisch.....	18
2.6.2. Koinzident/nebeneinanderliegend	28
2.6.3. Statisch/dynamisch.....	30
2.6.4. Visualisierung multipler Unsicherheiten	32
2.7. Entscheidungen unter Unsicherheit	33
2.8. Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidung und den Entscheidungsprozess	37
2.8.1. Einfluss auf die Entscheidung.....	38
2.8.2. Einfluss der Unsicherheitsvisualisierungstechnik auf die Entscheidung.....	42
2.8.3. Einfluss auf den Entscheidungsprozess	45
2.8.4. Einfluss auf die benötigte Zeit für eine Entscheidung	48
2.8.5. Akzeptanz von Unsicherheitsvisualisierungen	49
2.8.6. Rolle der Fachkompetenz	50
2.9. Entscheidungen unter Zeitdruck.....	52
2.9.1. Definition von Zeitdruck	52
2.9.2. Effekte von Zeitdruck auf die Entscheidung und den Entscheidungsprozess.....	53
2.10. Einfluss von Zeitdruck auf den Kartengebrauch und kartenbasierte Entscheidungen	55
2.11. Eingliederung der Arbeit in den Forschungskontext.....	57
3. Forschungsfragen	59

4. Methodik.....	61
4.1. Teilnehmer.....	61
4.2. Strukturierung und Durchführung der Studie.....	61
4.3. Studiendesign.....	62
4.4. Online-Vorstudie.....	63
4.5. Erster Teil der Hauptstudie.....	65
4.5.1. Pre - <i>Short State Stress Questionnaire</i>	65
4.5.2. Persönlichkeitsfragebogen.....	66
4.5.3. Papierfalttest.....	66
4.5.4. Ablauf des ersten Teils der Hauptstudie.....	67
4.6. Zweiter Teil der Hauptstudie.....	67
4.6.1. Struktur des zweiten Teils der Hauptstudie.....	67
4.6.2. Szenario für die Entscheidungsaufgaben.....	68
4.6.3. Herstellung der Karten.....	69
4.6.4. Erarbeiten verschiedener Aufgabenvarianten und Ansiedeln der Landstellenelemente..	76
4.6.5. Festlegen des Zeitlimits.....	81
4.6.6. <i>Eye Tracker</i>	82
4.6.7. Ablauf des zweiten Teils der Hauptstudie.....	82
4.7. Dritter Teil der Hauptstudie.....	83
5. Resultate.....	85
5.1. Online-Vorstudie.....	85
5.1.1. Persönlichkeitsfragebogen.....	85
5.1.2. Benötigte Entscheidungszeit.....	85
5.1.3. Bevorzugte Visualisierungsmethode.....	87
5.2. Erster Teil der Hauptstudie.....	88
5.2.1. Persönlichkeitsfragebogen.....	88
5.2.2. Papierfalttest.....	91
5.3. Zweiter Teil der Hauptstudie.....	93
5.3.1. Transformation der Rohdaten.....	93
5.3.2. Analyseverfahren hinsichtlich der Landstellenkategorien.....	96
5.3.3. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten mithilfe des Analyseverfahrens 1.....	99
5.3.4. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten mithilfe des Analyseverfahrens 2.....	101
5.3.5. Korrektheit der Entscheidungen bei Entscheidungen ohne Unsicherheiten.....	104
5.3.6. Vergleich der gewählten Landstellenarten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten ...	104
5.3.7. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten von Gruppen mit unterschiedlichen räumlichen Denkfähigkeiten mithilfe des Analyseverfahrens 1.....	107

5.3.8. Vergleich der Entscheidungssicherheit bei Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten	109
5.3.9. Vergleich der Entscheidungszeiten bei Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten ..	112
5.3.10. Analyse der Entscheidungsprozesse bei Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten auf der Ebene der gesamten Kartenansicht mithilfe der <i>Eye Tracker</i> -Daten.....	116
5.3.11. Analyse der Entscheidungsprozesse bei Entscheidungen mit Unsicherheiten auf der Ebene der einzelnen Auswahloptionen mithilfe der <i>Eye Tracker</i> -Daten.....	121
5.4. Dritter Teil der Hauptstudie	123
5.4.1. <i>Short State Stress Questionnaire</i>	123
5.4.2. Nachbefragung	126
6. Diskussion	130
6.1. Standen die Teilnehmer der UZ-Gruppe unter Zeitdruck?	130
6.2. Forschungsfrage 1: Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck	131
6.2.1. Effekte auf die Entscheidung	131
6.2.2. Effekte auf die Entscheidungssicherheit.....	137
6.3. Forschungsfrage 2: Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsprozesse bei komplexen kartenbasierten Entscheidungen	138
6.3.1. Effekte auf die Entscheidungszeit	138
6.3.2. Effekte auf die Prozessierung verschiedener Elemente der gesamten Kartenansicht	141
6.3.3. Effekte auf die Prozessierung verschiedener Auswahloptionen bei Karten mit Unsicherheiten	143
6.4. Forschungsfrage 3: Unterschiede zwischen den komplexen kartenbasierten Entscheidungen sowie Entscheidungsprozessen ohne und unter Zeitdruck	146
6.4.1. Unterschiede/Gemeinsamkeiten in der Korrektheit der Entscheidungen	146
6.4.2. Unterschiede/Gemeinsamkeiten bei den Entscheidungen	147
6.4.3. Unterschiede/Gemeinsamkeiten in der Entscheidungssicherheit.....	147
6.4.4. Unterschiede/Gemeinsamkeiten bei den Entscheidungsprozessen	148
6.5. Kritische Betrachtung der Arbeit.....	150
7. Schlusswort und Ausblick	153
7.1. Schlusswort	153
7.2. Ausblick.....	157
8. Literatur	159
9. Anhang.....	168
A. Variantentabellen für die Ansiedelung der Landstellen in den Karten	168
B. Fragebogen der Online-Vorstudie	171
C. Einwilligungsfomular der Hauptstudie.....	177
D. <i>Short State Stress Questionnaire</i>	179

E. Persönlichkeitsfragebogen	180
F. Papierfalttest	182
G. Szenario-Beschreibung	183
H. Beschreibung des Konzepts von Unsicherheiten in DHMs	185
I. Entscheidungsaufgaben der Hauptstudie	186
J. Nachbefragung der Hauptstudie.....	192
K. Einladungsmail an die Teilnehmer der Online-Vorstudie	194
L. Einladungsmail an die Teilnehmer der Hauptstudie.....	195
Persönliche Erklärung	197

Abbildungen

Abb. 1: Visuelle Zusammenfassung nach Mason <i>et al.</i> (2017).	V
Abb. 2: Eingliederung der Arbeit in den grösseren Kontext.	5
Abb. 3: Einführung von Unsicherheiten bei allen drei Schritten der Datenprozessierungskette (Pang <i>et al.</i> 1997).	9
Abb. 4: Die zwei gängigsten Datenstrukturen von DHMs (Trautwein <i>et al.</i> 2011).	11
Abb. 5: Verschiedene Arten von Fehlern in DHMs.	12
Abb. 6: Modell zur Kommunikation von Unsicherheiten nach Beard und Mackaness (1993) sowie Reinke und Hunter (2002).	14
Abb. 7: UVis ³ nach Kinkeldey <i>et al.</i> (2014a).	17
Abb. 8: Von MacEachren <i>et al.</i> (2012) getestete visuelle Variablen angewendet auf Punktsignaturen.	20
Abb. 9: Intrinsische Methoden, um Unsicherheiten von Linien darzustellen (Boukhelifa <i>et al.</i> 2012).	21
Abb. 10: Skizzenhaftigkeit als intrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik (Boukhelifa <i>et al.</i> 2012).	21
Abb. 11: Verwendung von Fehlerbalken als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungsmethode (Deitrick und Wentz 2015).	22
Abb. 12: Vertikale Säulen (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik (Cliburn <i>et al.</i> 2002).	23
Abb. 13: Zylinder (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik (Hope und Hunter 2007b).	23
Abb. 14: Kreisflächen (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik in Google Maps.	24
Abb. 15: Zwei extrinsische Methoden, um räumliche Unsicherheiten darzustellen (Google Maps, McKenzie <i>et al.</i> 2016).	24
Abb. 16: Schwarz-weiss gestrichelte Textur als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik nach MacEachren <i>et al.</i> (1998).	25
Abb. 17: Drei Texturen als extrinsische Unsicherheitsvisualisierung in Klimaänderungskarten (Retchless und Brewer 2016).	26
Abb. 18: <i>Noise Annotation Lines</i> als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik in einer Bodennutzungskarte (Kinkeldey <i>et al.</i> 2013).	27
Abb. 19: Visualisierung der Bodentiefe (cm) und der Unsicherheit (%) in zwei separaten Karten oder koinzident in einer Karte (Kubíček und Šašinka 2011).	29
Abb. 20: Darstellung mehrerer Unsicherheitsarten gleichzeitig mithilfe der <i>Hexagonal or Rhombus quadtree tessellation</i> -Methode (Kardos <i>et al.</i> 2007).	33

Abb. 21: Benutzeroberfläche des Flugabwehrsystems von Riveiro <i>et al.</i> (2014).....	41
Abb. 22: Verschiedene Techniken, um die räumlichen Unsicherheiten von Grenzen und Booten zu kommunizieren (Hope und Hunter 2007a).....	43
Abb. 23: Sechs verschiedene Techniken, um die Unsicherheiten in Vorhersagen von Waldbränden und deren Ausbreitungen darzustellen (Cheong <i>et al.</i> 2016).....	44
Abb. 24: Fünf verschiedene Darstellungen für die Unsicherheiten einer Hurrikan-Vorhersage (Ruginski <i>et al.</i> 2016).....	46
Abb. 25: Vier verschiedene Techniken, um die Grenzen zwischen verschiedenen Gefahrenzonen darzustellen (Kübler 2016).....	47
Abb. 26: Modell für Entscheidungen unter Zeitdruck nach Hwang (1994).....	54
Abb. 27: Verschiedene Kartendarstellungen für die Routenwahl in Wilkenings (2012) Studie.	55
Abb. 28: Verschiedene Kartendarstellungen für die Wahl eines Helikopterlandeplatzes in Wilkenings (2012) Studie.	56
Abb. 29: Strukturierung der empirischen Studie.	62
Abb. 30: Die zwei in der Vorstudie verwendeten extrinsischen Unsicherheitsvisualisierungsmethoden: schwarz-weiss gestichelte Methode nach MacEachren <i>et al.</i> (1998), gepunktete Methode nach Retchless und Brewer (2016) und Brewer (2016).....	64
Abb. 31: Aufgabe 8 aus dem Papierfalttest. Die Lösung ist C.....	67
Abb. 32: Struktur des zweiten Teils der Hauptstudie	67
Abb. 33: Gesamter Prozess zur Herstellung der Karten.....	70
Abb. 34: Vorher-nachher-Vergleich der Bereinigung der Hangneigungskarte zur Verminderung/Eliminierung des Treppeneffekts.	72
Abb. 35: Standardabweichungskarte als Ausgabe der Monte-Carlo-Simulation und umklassierte Standardabweichungskarte.....	73
Abb. 36: Beispiel einer endgültigen Karte mit allen Layer und Unsicherheitsvisualisierungen.	74
Abb. 37: Lage der ausgewählten Ortschaften für die Entscheidungsaufgaben innerhalb des Kantons GR.....	75
Abb. 38: Komplette Karte mit allen Elementen, so, wie sie die Teilnehmer zu sehen bekamen.	80
Abb. 39: Originalkarte und Duplikat nach der Rotation um 90° im Uhrzeigersinn, der horizontalen Spiegelung und der Neubeschriftung.	81
Abb. 40: Der verwendete <i>Eye Tracker</i> Tobii TX300 mit dem Sensor unter dem Bildschirm.	82
Abb. 41: Vergleich der Entscheidungszeiten der Entscheidungen mit schwarz-weiss gestrichelten und schwarz gepunkteten Unsicherheitsvisualisierungen.....	86
Abb. 42: Durchschnittliche Entscheidungszeit pro Unsicherheitsvisualisierungsmethode über alle Vorstudienteilnehmer.....	87
Abb. 43: Bevorzugte Unsicherheitsvisualisierungsmethode der Vorstudienteilnehmer.....	87
Abb. 44: Ausbildungshintergrund der Teilnehmer.....	89

Abb. 45: Häufigkeit von Freizeitaktivitäten, die den Gebrauch von Karten erfordern.	90
Abb. 46: Erfahrung in verschiedenen für die Entscheidungsaufgaben relevanten Bereichen.	91
Abb. 47: Punktetotal jedes Teilnehmers im Papierfalttest (nach der Auswertungsmethode von Ekstrom <i>et al.</i> 1976).....	92
Abb. 48: Durchschnittlich erreichtes Punktetotal im Papiertests pro Teilnehmergruppe.	92
Abb. 49: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ- Gruppe.....	100
Abb. 50: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ- Gruppe.....	100
Abb. 51: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der OZ-Gruppe gewählt wurden.	102
Abb. 52: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der UZ-Gruppe gewählt wurden..	103
Abb. 53: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen zwischen Teilnehmern mit tiefer und hoher räumlicher Denkfähigkeit innerhalb der OZ-Gruppe.	108
Abb. 54: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen zwischen Teilnehmern mit tiefer und hoher räumlicher Denkfähigkeit innerhalb der UZ-Gruppe..	109
Abb. 55: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungssicherheiten zwischen OUV- und MUV- Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe.	111
Abb. 56: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten aller Entscheidungsaufgaben der OZ- Gruppe.....	113
Abb. 57: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten für die OUV- und MUV- Entscheidungen der OZ-Gruppe.	114
Abb. 58: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten aller Entscheidungsaufgaben der UZ- Gruppe.....	115
Abb. 59: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten für die OUV- und MUV- Entscheidungen der UZ-Gruppe.	116
Abb. 60: Unterteilung der Ansicht in sieben verschiedene AOIs.	117
Abb. 61: Vergleich der durchschnittlichen <i>Visit Counts</i> aller AOIs zwischen OUV- und MUV- Entscheidungen der OZ-Gruppe.	118
Abb. 62: Vergleich der durchschnittlichen <i>Total Visit Durations</i> aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe.....	119

Abb. 63: Vergleich der durchschnittlichen <i>Visit Counts</i> aller AOIs zwischen OUV- und MUV- Entscheidungen der UZ-Gruppe.	120
Abb. 64: Vergleich der durchschnittlichen <i>Total Visit Durations</i> aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe.	121
Abb. 65: Platzierung der Landstellen AOIs auf der Karte.	122
Abb. 66: Durchschnittliche <i>Visit Counts</i> und durchschnittliche <i>Total Visit Durations</i> je für die zwei Landstellenarten in MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe.	122
Abb. 67: Durchschnittliche <i>Visit Counts</i> und durchschnittliche <i>Total Visit Durations</i> je für die zwei Landstellenarten in MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe.	123
Abb. 68: Durchschnittliche <i>Change Scores</i> des SSSQ pro Gruppe und Faktor.	125
Abb. 69: Empfundener Schwierigkeitsgrad der Entscheidungsaufgaben.	127
Abb. 70: Gefühl von Stress bei beiden Gruppen und das Gefühl, sich beeilen zu müssen, bei der UZ- Gruppe.	129
Abb. 71: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der OZ- und UZ-Gruppe gewählt wurden.	132
Abb. 72: Vergleich der durchschnittlichen <i>Visit Counts</i> aller AOIs bei OUV- und MUV- Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe.	141

Tabellen

Tabelle 1: Auflistung der Komponenten, die häufig in Definitionen von Unsicherheit genannt werden (Pang 2001, Zhang und Goodchild 2002, MacEachren <i>et al.</i> 2005, Thomson <i>et al.</i> 2005, Griethe und Schumann 2006, Shi 2010, Kinkeldey <i>et al.</i> 2015a).	8
Tabelle 2: Variationen der Variable Bildschärfe (MacEachren 1992, 1995).	18
Tabelle 3: Verschiedene Heuristiken nach Tversky und Kahneman (1974) und Payne <i>et al.</i> (1993)....	36
Tabelle 4: Liste der verwendeten Ortschaften für die Herstellung der Karten und die dazugehörigen Kartenmittelpunkte.	75
Tabelle 5: Kategorisierung der Hangneigung für die Erarbeitung verschiedener Aufgabenvarianten. .	76
Tabelle 6: Kategorisierung der Distanzen zu den zwei Arten von Hindernissen und der Person in Notlage für die Erarbeitung verschiedener Aufgabenvarianten.	76
Tabelle 7: Zuteilung der Regionen zu den vier Aufgabenvarianten.	77
Tabelle 8: Anzahl Landstellen, die pro Aufgabenvariante in die verschiedenen Hangneigungskategorien fallen.	77
Tabelle 9: Anzahl Landstellen, deren Abstände pro Aufgabenvariante zu den zwei Arten von Hindernissen «gut» oder «zu nahe» sind.	78
Tabelle 10: Beispiel einer Variantentabelle für die Variante 1 und die Region Arosa.	78
Tabelle 11: Eignung der verschiedenen Hangneigungskategorien ohne und mit Unsicherheiten.	94
Tabelle 12: Kategorisierung der Landstellen in acht Kategorien für die Analyse der Entscheidungen.	95
Tabelle 13: Häufigkeiten der einzelnen Landstellenkategorien in allen 16 Karten und in den je acht Karten ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen.	95
Tabelle 14: Beispiel des Vorgehens beim Analyseverfahren 1 anhand der Daten der Teilnehmerin OZ_T07.	97
Tabelle 15: Beispiel des Vorgehens beim Analyseverfahren 2 anhand der Daten der Teilnehmerin OZ_T07.	99
Tabelle 16: Vergleich der Korrektheit zwischen OUV-Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe.	104
Tabelle 17: Anzahl mit der jede Landstellenart insgesamt in den acht Karten mit visualisierten Unsicherheiten vorkommt.	105
Tabelle 18: Absolute Anzahl und Prozentsatz der gewählten Landstellen in Regionen ohne und mit Unsicherheit bei MUV-Entscheidungen	106
Tabelle 19: Fünfteilige Antwortskala auf die Frage nach der Entscheidungssicherheit mit zugeordneten Werten.	110
Tabelle 20: Zuordnung der einzelnen Fragen des SSSQ zu drei Faktoren von Stress nach Helton (2004) und Helton und Näswall (2015).	124

Tabelle 21: Deskriptive Statistik für die drei einzelnen Faktoren des SSSQ im Vorher-nachher-Vergleich..... 124

Tabelle 22: Kategorisierte Gründe, weshalb die Entscheidungen als «schwierig» oder «sehr schwierig» eingestuft wurden..... 128

Glossar und Abkürzungen

AOI	<i>Area of Interest</i> , hier: Bereich im Stimulus, der für die <i>Eye Tracker</i> -Analyse definiert wird
BAZL	Schweizerisches Bundesamt für Zivilluftfahrt
DHM	Digitales Höhenmodell
DHM25	Digitales Höhenmodell der Schweiz (Herausgeber: swisstopo)
EML	<i>Eye Movement Lab</i> , hier: Raum, in dem die Studie durchgeführt wurde
<i>Eye Tracking</i> -Methode	Methode, bei der die Augenbewegungen der Studienteilnehmer aufgezeichnet werden während des LöSENS der ihnen gestellten Aufgaben, um so Informationen über deren Denkprozesse zu erhalten (Glaholt und Reingold 2011)
<i>Eye Tracker</i>	Gerät (oder Sensor), das die Augenbewegungen aufzeichnet
GIS	Geographisches Informationssystem
GIScience	Geographische Informationswissenschaft
GR	Kanton Graubünden
NCGIA	<i>National Center for Geographic Information and Analysis</i>
<i>Think Aloud</i> -Methode	Methode, bei der Studienteilnehmer laut denken während des LöSENS der ihnen gestellten Aufgaben, um so Informationen über deren Denkprozess zu erhalten (Fonteyn <i>et al.</i> 1993)
MUV	Mit Unsicherheitsvisualisierungen
OUV	Ohne Unsicherheitsvisualisierungen
OZ	Ohne Zeitdruck
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> , Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung
SSSQ	<i>Short State Stress Questionnaire</i> , nach Helton (2004)
swisstopo	Schweizerisches Bundesamt für Landestopographie
UZ	Unter Zeitdruck
<i>Visit Count</i>	Anzahl Besuche in einem AOI
<i>Visit Duration</i>	Dauer aller Besuche in einem AOI
WeGOM	<i>Web-GIS Obstacle Map</i> , digitale Luftfahrthinderniskarte (Herausgeber: BAZL)

1. Einleitung

1.1. Problemdefinition und Motivation

In unserem Alltag sind Entscheidungen omnipräsent. Einige dieser Entscheidungen fallen uns eher leicht, wie z.B. „Wo soll ich heute zu Mittag essen?“. Andere Entscheidungsfindungen wie beispielsweise zur Frage „Wo soll ich mir ein neues Haus bauen?“ sind hingegen nicht so trivial und die Antworten darauf müssen daher genauer bedacht und abgewogen werden. Unabhängig von der Art und Komplexität der Fragen haben alle Entscheidungen gemeinsam, dass der Entscheidungsträger Informationen braucht, um sich entscheiden zu können (Klein 1998). Zwischen 60% (Hahmann und Burghardt 2013) und 80% (Franklin 1992, MacEachren und Kraak 2001) aller Informationen sind georeferenziert, was bedeutet, dass ein Grossteil aller Informationen räumlich ist oder einen räumlichen Bezug hat. Dementsprechend basieren schätzungsweise 80% aller Entscheidungen im öffentlichen Sektor auf räumlichen Informationen (Riecken 2001). Doch nicht nur Entscheidungsträger des öffentlichen Sektors stützen ihre Entscheidungen auf räumliche Informationen ab, sondern auch eine Vielzahl an Branchen des privaten Sektors sowie die breite Öffentlichkeit ziehen bei ihren Entscheidungen räumliche Informationen bei (Hope und Hunter 2007a).

Seit jeher werden bei solchen Entscheidungen Karten als klassische Präsentationsmedien räumlicher Daten zu Hilfe genommen. In der Vergangenheit, als es nur statische 2D-Papierkarten gab, dienten Karten hauptsächlich als Datenbank und als Präsentationsmedium. Heutige (digitale) Karten können jedoch viel mehr leisten, als bloss Daten sichtbar zu machen, und werden als dynamische und interaktive Interfaces zu verteilten räumlichen Informationen betrachtet. Als solche unterstützen sie den Nutzer aktiv bei der Datenexploration, der Wissensgenerierung, sowie dem Denk- und Entscheidungsprozess. Die Wichtigkeit von Karten nimmt daher bei Entscheidungen basierend auf räumlichen Informationen mehr und mehr zu (MacEachren und Kraak 2001).

Kartennutzer gehen in der Regel davon aus, dass die Informationen in den Karten zuverlässig, akkurat und wenig fehlbar sind (MacEachren 1992, Goodchild 2006). Entlang der gesamten Datenprozessierungskette, also von der Datenerhebung bis zum Kartenendprodukt, können jedoch Unsicherheiten entstehen. Folglich enthalten die in den Karten visualisierten räumlichen Informationen Unsicherheiten (Pang *et al.* 1997).

Das Vorhandensein von Unsicherheiten ist jedoch nicht nur bei Karten ein Thema, sondern praktisch alle nur denkbaren Informationen sind mit Unsicherheiten behaftet, denn Daten sind im Allgemeinen selten absolut sicher (Skeels *et al.* 2010, MacEachren *et al.* 2012). Dementsprechend befasst sich auch eine Vielzahl an Fachrichtungen über verschiedenste Wissenschaftszweige hinweg mit Unsicherheiten (Skeels *et al.* 2010).

So vielfältig die verschiedenen Bereiche sind, die sich mit Unsicherheiten befassen, so mannigfaltig sind auch die unzähligen Definitionen von Unsicherheit. Da Unsicherheit als komplexes und facettenreiches Konzept gilt, ist die verwendete Terminologie häufig nicht einheitlich (MacEachren *et al.* 2005). Der einzige Konsens bezüglich der Definition von Unsicherheit scheint zu sein, dass es keinen Konsens gibt, sondern je nach Fachbereich und Anwendungsgebiet leicht andere Konzeptualisierungen zum Zuge kommen (Skeels *et al.* 2010).

Die geographische Informationswissenschaft (englisch: *geographic information science*, kurz: GIScience) befasst sich schon seit einigen Jahrzehnten mit dem Thema Qualität von räumlichen Daten, und somit mit Unsicherheiten, und betrachtet es als Thema von grosser Bedeutung (Goodchild 2006). Zusammengefasst geht es in dieser Forschung darum, Unsicherheiten zu identifizieren, zu beschreiben, zu modellieren und zu visualisieren (Zhang und Goodchild 2002). Ausserhalb des wissenschaftlichen Kontextes sind die Nutzer von räumlichen Daten hingegen noch grösstenteils im Unwissenden in Bezug auf die Unsicherheiten, die in den Karteninformationen enthalten sind (Goodchild 2006). Wissenschaftler sind sich jedoch weitestgehend einig, dass die mit räumlichen Daten verbundenen Unsicherheiten dem Endnutzer kommuniziert werden müssen, sodass sie für diesen unmissverständlich klar sind (Hope und Hunter 2007a). Dies ist besonders wichtig, wenn basierend auf den räumlichen Informationen Entscheidungen getroffen werden, denn um gut fundierte Entscheidungen treffen zu können, muss der Entscheidungsträger darüber informiert sein, inwiefern seine Informationen mit Unsicherheiten behaftet sind (Gershon 1998).

Seit mehr als zwei Jahrzehnten befassen sich Wissenschaftler der GIScience daher damit, wie Unsicherheiten visuell dargestellt werden können, um sie dem Endnutzer zu kommunizieren. Der Fokus lag dabei zum einen hauptsächlich auf der Entwicklung von Typologien von Unsicherheiten, um die verschiedenen Aspekte von Unsicherheit zu erfassen, und zum anderen auf der Entwicklung von konkreten Methoden zur Visualisierung von Unsicherheiten, sodass nun auf eine breite Palette von möglichen Visualisierungstechniken zugegriffen werden kann. Des Weiteren wurde eine Vielzahl an Studien durchgeführt, um die verschiedenen Methoden miteinander in Bezug auf verschiedenste Aspekte zu vergleichen (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Weniger Aufmerksamkeit wurde bislang hingegen der Frage geschenkt, ob und inwiefern diese Visualisierungen den Entscheidungsträger unterstützen, und welchen Effekt sie auf das Ergebnis seiner Entscheidung haben. Seit der Jahrhundertwende nimmt die Zahl der Studien in diesem Bereich zwar zu, doch die Erkenntnisse aus diesen Studien sind häufig nur schwierig vergleichbar. Grund dafür ist zum einen, dass die Komplexität der Aufgaben stark variiert, wobei bislang vermehrt nur einfache statt komplexe Aufgaben untersucht wurden, und zum anderen, dass den Studien verschiedenste Szenarien aus unterschiedlichen Problembereichen zugrunde liegen (Kinkeldey *et al.* 2015a). Einige Studien wie z.B. diejenige von Leitner und Buttenfield (2000) zeigen, dass die Visualisierung der Unsicherheit zu mehr korrekten Antworten führt und daher einen positiven Effekt auf das Entscheidungsergebnis hat, andere

Studien wie beispielsweise diejenige von Hope und Hunter (2007b) zeigen wiederum, dass die Unsicherheitsvisualisierung zu irrationalen Entscheidungen führen kann, und folglich einen negativen Effekt hat. Nochmals andere Studien wie diejenige von Pyysalo und Oksanen (2014) weisen nach, dass Unsicherheitsdarstellungen zu anderen Entscheidungen führen, ohne diesen Effekt zu werten. Allgemeingültige Aussagen darüber, welche Effekte Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen haben, können daher kaum gemacht werden (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Noch weniger ist bekannt darüber, welchen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf den Denk- und Entscheidungsprozess eines Entscheidungsträgers haben, da diesem Bereich bisher von der Forschung nur wenig Beachtung beigemessen wurde (MacEachren *et al.* 2005, Kinkeldey *et al.* 2015a). So gehören Ruginski *et al.* (2016) und Kübler (2016), die die *Think Aloud*- bzw. die *Eye Tracking*-Methode anwenden, um mehr über die Entscheidungsprozesse bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen zu erfahren, zu den wenigen, die sich nicht nur mit dem Entscheidungsergebnis, sondern explizit auch mit dem Entscheidungsprozess befassen.

Informationen im Vorfeld einer Entscheidung zu sammeln und zu verarbeiten, ist ein zeitintensiver Prozess, weshalb Entscheidungsträger so gut wie immer die Zeit, die sie für den Prozess aufbringen möchten, limitieren, sofern ein Zeitlimit nicht bereits von aussen gegeben ist. Folglich werden alle Entscheidungen unter einer Art von Zeitdruck gefällt (Busemeyer und Townsend 1993).

Auch bei kartenbasierten Entscheidungen spielt Zeit häufig eine wichtige Rolle. Einige dieser Entscheidungen müssen äusserst schnell getroffen werden, wobei es manchmal sogar um Leben und Tod geht, wie beispielsweise wenn sich Rettungssanitäter oder Feuerwehrleute entscheiden müssen, welche Route sie nehmen, um möglichst schnell zum Verletzten bzw. zum Brand zu gelangen. Ein Beispiel für Forschung im Bereich kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck ist die Dissertation von Wilkening (2012), die den Einfluss von Zeitdruck auf verschiedene kartenbasierte Entscheidungen untersucht.

Der Aspekt der Zeit wurde teilweise auch in der Forschung über Unsicherheiten berücksichtigt. So haben einige Studien über die Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen gezeigt, dass die Visualisierung der Unsicherheit den Entscheidungsprozess nicht verlangsamt (z.B. die Studie von Leitner und Buttenfield 2000 sowie auch diejenige von Kübler 2016) oder diesen sogar beschleunigt (Andre und Cutler 1998).

Cheong *et al.* (2016) brachten als erste Zeitdruck in Verbindung mit Unsicherheitsvisualisierungen. Sie untersuchten, welchen Effekt unterschiedliche Unsicherheitsvisualisierungstechniken auf Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck haben. Der Fokus lag also hauptsächlich auf den unterschiedlichen Techniken. Inwiefern Unsicherheitsdarstellungen jedoch kartenbasierte Entscheidungen und den dazugehörigen Entscheidungsprozess beeinflussen, wenn Entscheidungsträger nur eine limitierte Zeitspanne für ihre Entscheidung zur Verfügung haben und somit unter Zeitdruck stehen, wurde bislang meines Wissens noch in keiner Studie erforscht.

1.2. Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzt an mehreren aufgezeigten Forschungslücken an. Im Allgemeinen ist das Ziel, eine empirische Studie durchzuführen, mithilfe derer untersucht werden kann, welche Effekte Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen und Entscheidungsprozesse unter verschiedenen Zeitbedingungen (ohne und unter Zeitdruck) haben. Im Folgenden wird basierend auf den obigen Erläuterungen dargelegt, was in dieser Arbeit konkret thematisiert wird und was nicht.

Da bereits sehr viele Methoden zur Visualisierung von Unsicherheiten erarbeitet wurden und diese auch in unzähligen Studien miteinander verglichen und getestet wurden (Kinkeldey *et al.* 2014a), wird in dieser Arbeit nicht näher untersucht, ob unterschiedliche Visualisierungen unterschiedliche Einflüsse auf den Entscheidungsprozess sowie die Entscheidung an sich haben, unabhängig davon, ob es sich um eine Entscheidung unter oder ohne Zeitdruck handelt. Aus diesem Grund wird in der empirischen Studie mit einer einzigen Visualisierungsmethode gearbeitet.

Die Arbeit hat jedoch deutlich zum Ziel, an die bereits bestehende Forschung über die Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf das Ergebnis von Entscheidungen anzuknüpfen und so einen Beitrag zu leisten zugunsten einer allgemeingültigen Erkenntnis. Da hinsichtlich Forschung hauptsächlich noch mehr Studien gefordert werden, die komplexe Entscheidungsprobleme untersuchen (Kinkeldey *et al.* 2015a), liegt der hier durchgeführten Studie ein komplexes, multikriterielles Entscheidungsproblem zugrunde.

Weiteres Ziel dieser Arbeit ist zu untersuchen, welchen Effekt Unsicherheitsdarstellungen auf die Denk- und Entscheidungsprozesse haben, die den endgültigen Entscheidungen vorangehen, weil das Wissen aufgrund der geringen Studienzahl diesbezüglich noch unzureichend ist (Kinkeldey *et al.* 2015a). Dazu wird die *Eye Tracking*-Methode angewendet, da die Methode in diesem Bereich noch kaum Anwendung fand, ihr jedoch das Potenzial zugeschrieben wird, neue Erkenntnisse zu ermöglichen hinsichtlich bislang unzureichend beantworteter Fragen (Brus *et al.* 2005).

Schliesslich hat die Arbeit zum Ziel, die Brücke zu schlagen zwischen der Forschung zum Einfluss von Unsicherheiten auf kartenbasierte Entscheidungen und der Forschung zu kartenbasierten Entscheidungen unter Zeitdruck. Es soll im Konkreten untersucht werden, welchen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck haben. Da es meiner Kenntnis nach noch keine Studien gibt, die genau dies tun, handelt es sich hierbei um Neuland. Die Abb. 2 zeigt, wie die vorliegende Arbeit thematisch in den grösseren Kontext einzuordnen ist.

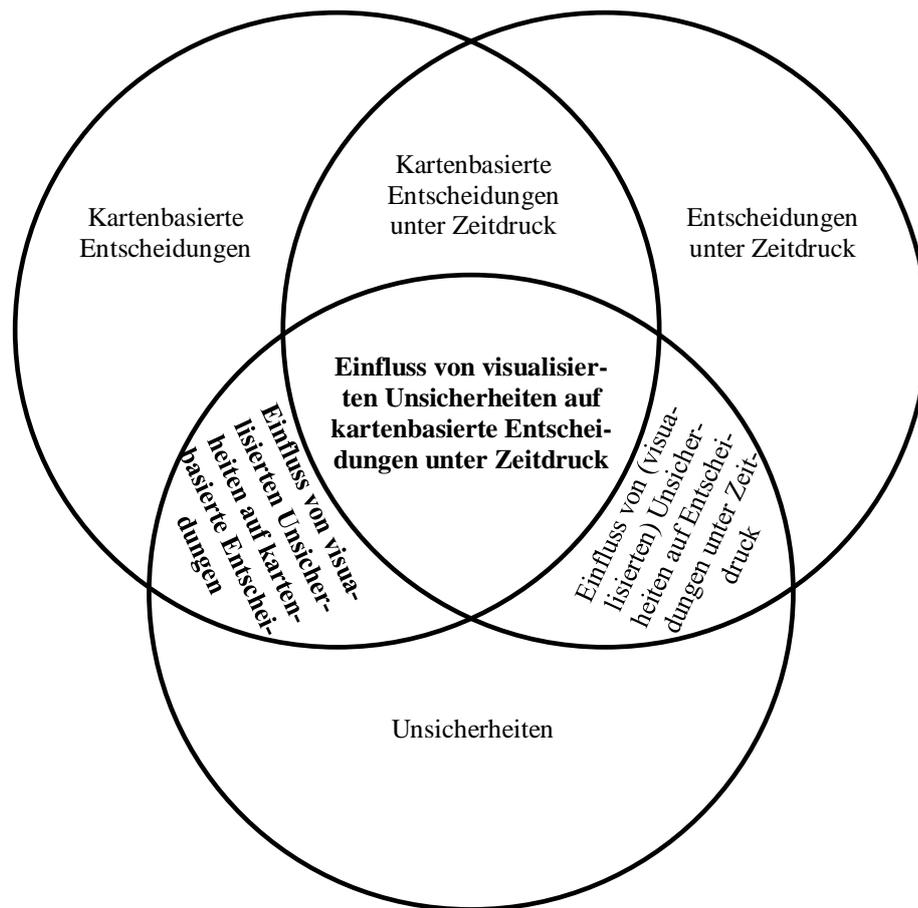


Abb. 2: Eingliederung der Arbeit in den grösseren Kontext. Die fett geschriebenen Bereiche werden in dieser Arbeit thematisiert.

1.3. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist folgendermassen strukturiert: Im nächsten Kapitel wird ein Überblick über den aktuellen Stand der für diese Arbeit relevanten Forschung gegeben. Darauf aufbauend werden im dritten Kapitel die Forschungsfragen sowie die dazugehörigen Hypothesen präsentiert. Im vierten Kapitel wird schliesslich die Methodik erläutert, die angewendet wird, um die Forschungsfragen zu beantworten. Darauffolgend werden im fünften Kapitel die erhaltenen Resultate vorgestellt, welche anschliessend im sechsten Kapitel diskutiert und in den Forschungskontext eingegliedert werden. Im siebten Kapitel werden sodann die Erkenntnisse der gesamten Arbeit zusammengefasst, die in eine Schlussfolgerung münden. Abschliessend wird ein Ausblick auf zukünftige Forschungsmöglichkeiten gegeben.

2. Forschungskontext

In diesem Kapitel wird ein Überblick gegeben über den aktuellen Stand der Forschung in den verschiedenen Bereichen, die für diese Arbeit relevant sind. Die dafür verwendete Literatur stammt hauptsächlich aus den Fachbereichen der Geovisualisierung sowie der Psychologie, wobei hier in erster Linie Literatur aus der Entscheidungsforschung und Stressforschung verwendet wird.

Thematisch wird im ersten Teil insbesondere darauf eingegangen, was Unsicherheiten sind, wie sie entstehen und wie sie kommuniziert werden. Anschliessend werden verschiedene Unsicherheitsvisualisierungsmethoden vorgestellt. Des Weiteren wird erläutert, was bereits bekannt ist über die Effekte von Unsicherheitsrepräsentationen auf kartenbasierte Entscheidungen sowie in Bezug auf die dazugehörigen Denkprozesse.

In einem zweiten Teil wird erläutert, was Zeitdruck ist und welchen Einfluss er auf Entscheidungen im Allgemeinen sowie auf kartenbasierte Entscheidungen im Besonderen hat.

2.1. Definition des Konzepts «Unsicherheit»

Nutzer von Karten gehen in der Regel davon aus, dass die Informationen in den Karten zuverlässig, akkurat und wenig fehlbar sind (MacEachren 1992, Goodchild 2006). Alle Informationen, so auch die in Karten visualisierten räumlichen Informationen, enthalten jedoch Unsicherheiten, denn Daten oder Informationen sind im Allgemeinen selten absolut sicher (Skeels *et al.* 2010, MacEachren *et al.* 2012). Trotz der Allgegenwärtigkeit von Unsicherheiten ist es jedoch schwierig zu definieren, was Unsicherheit überhaupt ist, denn Unsicherheit gilt als äusserst komplexes und facettenreiches Konzept (MacEachren *et al.* 2005). Dies hat zur Folge, dass es in der Literatur keinen Konsens bezüglich einer einheitlichen Definition von Unsicherheit gibt und stattdessen unzählige verschiedene Definitionen zur Anwendung kommen (Pang 2001). Beim Thema Unsicherheit handelt es sich also um ein Konzept, dessen Terminologie an und für sich bereits mit Unsicherheiten behaftet ist (Davis und Keller 1997). Dies ist besonders problematisch, da die Definition einen direkten Einfluss darauf hat, wie Unsicherheiten visualisiert werden (Pang 2001). Im weiteren Verlauf dieses Unterkapitels werden daher einige Definitionsansätze verschiedener Autoren thematisiert, die im geographischen Kontext, also im Zusammenhang mit räumlichen Daten, aufgestellt und verwendet wurden.

Zu Beginn der Forschung wurde hauptsächlich von Datenqualität gesprochen. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Denkweisen und folglich auch Definitionsansätze, wenn es um die Qualität von (räumlichen) Daten geht. So kann die Qualität von Daten entweder im affirmativen oder im pejorativen Sinne definiert werden. Demnach wird entweder der positive oder der negative Aspekt hervorgehoben. Bei einer positiven Betrachtungsweise wird von der Genauigkeit (englisch: *accuracy*) und bei einer negativen von der Fehlerhaftigkeit (englisch: *error*) der Daten gesprochen (Buttenfield 1993). Die Genauigkeit der Daten kann nach Buttenfield und Beard (1991) definiert werden als «Diskrepanz zwischen

einer Messung und einem Modell» und die Fehlerhaftigkeit als «Diskrepanz zwischen einer Messung und dem wahren Wert» (Buttenfield und Beard 1991: 424). Da der wahre Wert häufig nicht bekannt ist, ist die Fehlerhaftigkeit schwieriger zu quantifizieren und zu beurteilen als die Genauigkeit (Buttenfield und Beard 1991, Davis und Keller 1997). Die zwei Datenqualitätskonzepte sind also nicht gegensätzlich, sondern heben verschiedene Aspekte der Datenqualität hervor.

Im Laufe der Zeit hat sich allmählich der Begriff der Unsicherheit verbreitet, sodass heute hauptsächlich von Unsicherheiten in den Daten gesprochen wird. Während sich die verschiedenen Definitionen von Unsicherheit häufig voneinander unterscheiden, ist allen gemeinsam, dass dem Konzept der Unsicherheit zwar die Genauigkeit und/oder Fehlerhaftigkeit als Komponenten zugeschrieben werden, ihm jedoch inhaltlich viel mehr zugesprochen wird als diese zwei Komponenten. Unsicherheit wird daher oftmals als Sammelbegriff für verschiedene Konzepte verwendet (Zhang und Goodchild 2002).

Im Allgemeinen kann Unsicherheit als Resultat eines Mangels an Informationen betrachtet werden und das Ausmass der Unsicherheit hängt von der Menge an Informationen ab, die es bräuchte, um die absolute Wahrheit zu erreichen (Zhang und Goodchild 2002). Ebenfalls sehr allgemein kann Unsicherheit in Daten implizieren, dass das Wissen über die Daten in einem Datensatz nicht perfekt ist (Thomson *et al.* 2005). Nach einer weiteren, eher generellen Definition ist Unsicherheit der Grad, mit dem aufgrund von fehlendem Wissen über die Fehler in den Daten gezögert wird, die Daten ohne weitere Vorsichtsmassnahmen zu verwenden (Hunter und Goodchild 1993).

Im Detail besteht Unsicherheit aus vielen verschiedenen einzelnen Komponenten oder Konzepten (Griethe und Schumann 2006). Die unzähligen Definitionen, die es von Unsicherheit gibt, setzen sich also aus mehreren Komponenten zusammen, wobei hauptsächlich diejenigen genannt werden, die für die jeweilige Arbeit relevant sind. Die Tabelle 1 ist eine Zusammenstellung dieser Komponenten. Sie basiert auf den Unsicherheitstypologien von MacEachren *et al.* (2005) und Thomson *et al.* (2005) und wurde durch weitere häufig genannte Komponenten ergänzt. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In der hier vorliegenden Arbeit wird Unsicherheit als Wissen über eine Abweichung von einem gegebenen Wert zum wahren Wert in der Realität angesehen, wobei sich die Unsicherheit aus vielen verschiedenen Komponenten zusammensetzt.

Tabelle 1: Auflistung der Komponenten, die häufig in Definitionen von Unsicherheit genannt werden (Pang 2001, Zhang und Goodchild 2002, MacEachren *et al.* 2005, Thomson *et al.* 2005, Griethe und Schumann 2006, Shi 2010, Kinkeldey *et al.* 2015a).

Komponente	Englischer Begriff	Beschreibung
Abstammung	<i>Lineage</i>	Geschichte der Daten: Quelle, Verarbeitung, Transformationen
Aktualität	<i>Currency, Timing</i>	Zeitraumen vom Auftreten eines Phänomens über die Datengenerierung bis zum Datengebrauch
Ambiguität	<i>Ambiguity</i>	Mehrdeutigkeit in der Beschreibung der Daten
Fehlerhaftigkeit	<i>Error</i>	Abweichung der Daten vom wahren Wert
Genauigkeit	<i>Accuracy</i>	Abweichung der Daten von einem Modell
Glaubwürdigkeit	<i>Credibility</i>	Verlässlichkeit der Datenquelle
Klarheit	<i>Clarity, Distinctiveness</i>	Verständlichkeit der Daten
Konfidenz	<i>Confidence</i>	Vertrauen in die Daten
(In-)Konsistenz	<i>(In-)Consistency</i>	Zusammenpassen oder Übereinstimmung verschiedener Datenkomponenten eines Datensatzes
Präzision	<i>Precision</i>	Genauigkeit der Daten
Rauschen	<i>Noise</i>	Unerwünschter Hintergrundeinfluss auf die Daten
Reliabilität	<i>Reliability</i>	Zuverlässigkeit der den Daten zugrundeliegenden Modelle oder Messungen
Subjektivität	<i>Subjectivity</i>	Ausmass der menschlichen Interpretation in der Datenkonstruktion
Ungenauigkeit	<i>Inaccuracy, Imprecision</i>	Abweichung der simulierten oder modellierten Daten von wahren Werten
Vagheit	<i>Vagueness</i>	Unklarheit der Beschreibung der Daten
Validität	<i>Validity</i>	Kriterium, inwiefern eine Messung mit dem Messkonzept übereinstimmt
Variabilität	<i>Variability</i>	Schwankungen und Veränderungen in den Daten
(Un-)Vollständigkeit	<i>(In-)Completeness</i>	Angabe darüber, ob die Objekte in einem Datensatz alle Instanzen der Objekte der Realität wiedergeben
Zufälligkeit	<i>Randomness</i>	Zufälliges Auftreten unerwünschter Phänomene in den Daten

2.2. Quellen der Unsicherheit

So vielfältig wie die Definitionen von Unsicherheiten sind, so vielfältig sind die Quellen und Ursachen von Unsicherheiten in Visualisierungen räumlicher Daten. Unsicherheiten sind nach Shi (2010) auf vier Hauptfaktoren zurückzuführen: (1) inhärente Unsicherheiten der Realität, (2) Beschränkung des menschlichen Könnens bei der Wahrnehmung der Realität, (3) Beschränkungen von Messtechniken bei der Erhebung räumlicher Daten und (4) Potenzial zur Generierung und Fortpflanzung von Unsicherheiten bei der Datenprozessierung und -analyse.

Da die ersteren zwei Hauptfaktoren naturgegeben und somit nicht beeinflussbar sind, sind besonders letzteren zwei, die sich auf die Datenprozessierungskette beziehen, von Interesse (Shi 2010). Die Herstellung von Visualisierungen kann nach Pang *et al.* (1997) in drei grosse Schritte, welche in Abb. 3 graphisch dargestellt sind, unterteilt werden: (1) Zuerst werden die Daten erhoben (englisch: *collect*), (2) dann transformiert (englisch: *derive*) und (3) abschliessend visualisiert (englisch: *visualize*). Bei jedem dieser Schritte werden Unsicherheiten in unterschiedlichen Formen eingeführt, die schliesslich alle in irgendeiner Form im Endprodukt enthalten sind (Pang *et al.* 1997).

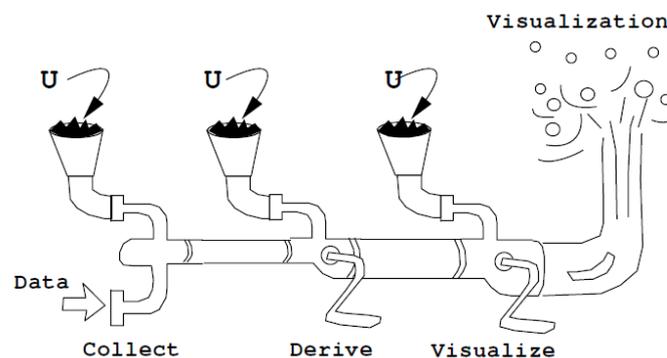


Abb. 3: Einführung von Unsicherheiten (U) bei allen drei Schritten der Datenprozessierungskette (Pang *et al.* 1997).

Die Datenerhebung erfolgt in der Regel durch Messungen mithilfe von Instrumenten, durch Modellierungen oder durch menschliches Beobachten. Bei Messungen mit Instrumenten können Unsicherheiten beispielsweise durch nicht ganz exaktes Einstellen der Instrumente entstehen. Modellierungen beruhen auf von Menschen entwickelten Modellen, die aus mehreren Parametern bestehen. Grundsätzlich handelt es sich bei einem Modell immer um eine Vereinfachung der Realität, was bedeutet, dass Unsicherheiten entstehen. Zusätzlich können Unsicherheiten bei der Wahl der Inputparameter entstehen. Bei der Beobachtung entstehen schliesslich Unsicherheiten, weil es Unterschiede in der menschlichen Wahrnehmung gibt. So variiert die Wahrnehmung zwischen verschiedenen Personen einerseits, andererseits unterscheiden sich aber auch mehrere Beobachtungen eines Sachverhalts von ein und derselben Person (Pang *et al.* 1997).

Da die erhobenen Rohdaten meistens nicht direkt visualisiert werden können, werden sie in einem oder mehreren Schritten transformiert. Die Komplexität der Transformationen kann von einfachen Um-

wandlungen der Masseinheiten bis zu komplexen Algorithmen reichen, die mehrere Datensätze vereinen. Da eine Transformation die ursprünglichen Daten in irgendeiner Form abändert, haben Transformationen das Potenzial, Unsicherheiten zu verursachen (Pang *et al.* 1997). Zusätzlich pflanzen sich dabei bereits von der Erhebung bestehende Unsicherheiten fort (Shi 2010).

Schliesslich können Unsicherheiten bei der Visualisierung der Daten selber eingeführt werden. Je nach Art der Visualisierung entstehen verschiedene Unsicherheiten. Häufige Quellen für Unsicherheiten sind beispielsweise Interpolationen, die durchgeführt werden, um Daten flächendeckend zu visualisieren. Bei animierten Visualisierungen entstehen Unsicherheiten hingegen häufig durch eine unpassende Wahl der Geschwindigkeit. Auch Routineprozesse wie die Klassierung der Daten für die Visualisierung können zu Unsicherheiten führen (Pang *et al.* 1997).

2.3. Arten der Unsicherheit

Geographische Informationen bestehen grundsätzlich aus drei Komponenten: (1) Raum, (2) Zeit und (3) Attribut (MacEachren *et al.* 2012). Da sich Unsicherheiten im räumlichen Kontext stets auf die Position, die Existenz oder die Beschreibung eines Objektes in einem Datensatz beziehen (Shi 2010), lassen sich die Unsicherheiten, die bei der gesamten Datenprozessierung eingeführt werden, ebenfalls in drei Arten unterteilen. Die drei Arten sind den drei Komponenten entsprechend: (1) räumliche Unsicherheiten, (2) zeitliche Unsicherheiten und (3) Attributunsicherheiten (MacEachren *et al.* 2005, Thomson *et al.* 2005, MacEachren *et al.* 2012).

Für jede der in Tabelle 1 beschriebenen Komponenten und für jede der drei Arten von Unsicherheiten können für räumliche Daten ganz bestimmte Unsicherheiten ausgemacht werden. Ausführliche Auflistungen dieser spezifischen Unsicherheiten sind in MacEachren *et al.* (2005), Thomson *et al.* (2005) und MacEachren *et al.* (2012) aufgeführt. Da die Komponenten Genauigkeit (englisch: *accuracy*) und Fehlerhaftigkeit (englisch: *error*) nach Roth (2009) den grössten Einfluss auf die Entscheidungsfindung haben, wird an dieser Stelle lediglich am Beispiel dieser zwei Komponenten erklärt, um was für Unsicherheiten es sich dabei handeln könnte.

Bei räumlichen Unsicherheiten bezieht sich die Genauigkeit und Fehlerhaftigkeit auf die Koordinaten eines Objektes. Räumliche Unsicherheiten bedeuten in diesem Fall, dass die Koordinaten eines dargestellten Objektes nicht genau der Realität entsprechen und sich das Objekt folglich an einem anderen Ort befinden könnte als dargestellt. Bei zeitlichen Unsicherheiten bezieht sich die Fehlerhaftigkeit und Genauigkeit hingegen auf die Zeitangabe zu einem Objekt. Die angegebene Zeit entspricht dabei nicht der tatsächlichen Zeit. Ist z.B. angegeben, dass sich ein Objekt an einem Tag X an einem gegebenen Ort befunden hat, könnte sich das Objekt stattdessen auch am Tag X-1 oder am Tag X+1 Tag an dem Ort befunden haben. Bei Attributunsicherheiten bezieht sich die Fehlerhaftigkeit und Genauigkeit auf die Grösse oder die angegebene Anzahl. Zeigt ein Symbol beispielsweise, dass es an einem gegebenen Ort zu einer gegebenen Zeit X Objekte hatte, könnte es stattdessen auch X-10 Objekte oder X+10 Objekte gehabt haben (MacEachren *et al.* 2012).

Obwohl sich die drei Arten von Unsicherheiten konzeptionell unterscheiden lassen und sie einen guten Anhaltspunkt geben bei der Wahl einer Visualisierungstechnik, sind sie in der Realität nicht immer strikt voneinander trennbar. So ist es teilweise schwierig, eine Aussage darüber zu machen, ob es sich um ein korrektes Attribut an einer falschen (unsicheren) Stelle oder um ein falsches (unsicheres) Attribut an einer korrekten Stelle handelt (Zhang und Goodchild 2002).

2.4. Unsicherheiten in digitalen Höhenmodellen und Hangneigungsberechnungen

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, gibt es verschiedene Arten von Unsicherheiten. Da die visualisierten Unsicherheiten in der hier durchgeführten Studie von Unsicherheiten in einem digitalen Höhenmodell (englisch: *digital elevation model*, kurz: DHM) stammen, wird ein theoretischer Überblick über DHMs, Unsicherheiten in DHMs und Unsicherheiten in deren Ableitungsprodukten gegeben.

DHMs sind digitale Aufzeichnungen der Höhen der Erdoberfläche. Als solche gehören sie zu den meist verbreiteten digitalen räumlichen Datensätzen (Fisher und Tate 2006). Des Weiteren bestehen sie bereits seit den Anfängen der geographischen Informationssysteme (kurz: GIS) und sind folglich äußerst genau definiert und erforscht (Hunter und Goodchild 1997). In GIS werden DHMs hauptsächlich als regelmässige Gitternetze (siehe Abb. 4: links) oder unregelmässige Dreiecknetze (kurz: TINs, siehe Abb. 4: rechts) modelliert, wobei erstere einfacher zu handhaben sind und daher häufiger vorkommen. Die Daten für DHMs können auf vielfältige Weise akquiriert werden wie beispielsweise direkt im Feld mit GPS, durch Digitalisieren von Höhenlinien in Papierkarten oder mithilfe von Fernerkundungsmethoden (Burrough *et al.* 2015).

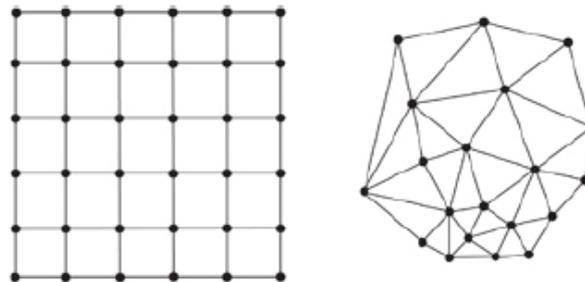


Abb. 4: Die zwei gängigsten Datenstrukturen von DHMs. Links: regelmässiges Gitternetz, rechts: unregelmässiges Dreiecknetz (Trautwein *et al.* 2011).

Mithilfe von DHMs lässt sich eine Vielzahl an verschiedenen Informationen zur Morphologie der Erdoberfläche berechnen (Jenson und Domingue 1988). Eine ausführliche Liste mit Informationsprodukten, die mittels DHMs berechnet werden können, und deren Anwendungsbereichen kann in Burrough *et al.* (2015) auf Seite 248 eingesehen werden. An dieser Stelle wird lediglich die Hangneigung vorgestellt, da diese für die Studie relevant ist. Die Neigung oder auch Hangneigung an einem Punkt der Erdoberfläche ist definiert als steilstes Gefälle der Tangentialebene, die durch diesen Punkt geht. Berechnen lässt sich die Hangneigung aus dem DHM durch die Ableitungen erster Ordnung in x- und y-Richtung (Trautwein *et al.* 2011, Streit 2013, Burrough *et al.* 2015). Die Ableitungen können auf verschiedene Arten berechnet werden (Burrough *et al.* 2015), wobei die Methode der finiten Differenzen von Horn (1981) nach Trautwein *et al.* (2011) die gängigste ist. Es handelt sich ausserdem um die in der

Software ArcMap implementierte Methode zur Hangneigungsberechnung (ArcGIS Tool Reference). Angegeben wird die Hangneigung entweder in Grad ($^{\circ}$) oder in Prozent (%) (Burrough *et al.* 2015).

Seit Beginn der Forschung über Unsicherheiten in räumlichen Informationen befassen sich Forscher auch mit Unsicherheiten in DHMs und wie diese berechnet werden können (Hunter und Goodchild 1997). Statt von Unsicherheiten ist jedoch meistens die Rede von Fehlern. Unsicherheiten in DHMs sind Abweichungen von Werten des Höhenmodells vom tatsächlichen Wert der Erdoberfläche. Unsicherheiten kann es demzufolge sowohl in den Höhendaten in z-Richtung wie auch in den planimetrischen Daten in x- und y-Richtung geben, wobei der Fokus jedoch auf den Unsicherheiten in den Höhendaten liegt. Folglich handelt es sich im übergeordneten Sinn um räumliche Unsicherheiten. Unsicherheiten in DHMs werden üblicherweise in folgende drei Gruppen kategorisiert: (1) grobe Fehler, (2) systematische Fehler und (3) zufällige Fehler. Grobe Fehler entstehen, wenn die Aufnahmegeräte falsch angewendet werden oder defekt sind. Systematische Fehler (siehe Abb. 5: A und B) haben eine gleichbleibende Tendenz (z.B. stete Überschätzung der realen Werte). Bei zufälligen Fehlern variieren die Fehler zufällig um den wahren Wert, wobei dies ohne (Abb. 5: C) oder mit (Abb. 5: D) räumlicher Autokorrelation möglich ist. Im Normalfall sind zufällige Fehler jedoch räumlich autokorreliert. Die Qualität von DHMs hängt ab von der Datengenerierungsmethode, der Datenprozessierungsmethode sowie von den Charakteristiken der Erdoberfläche, die modelliert wird. Die Topographie hat also einen direkten Einfluss darauf, ob Fehler in einem DHM existieren und wie gross diese sind (Fisher und Tate 2006).

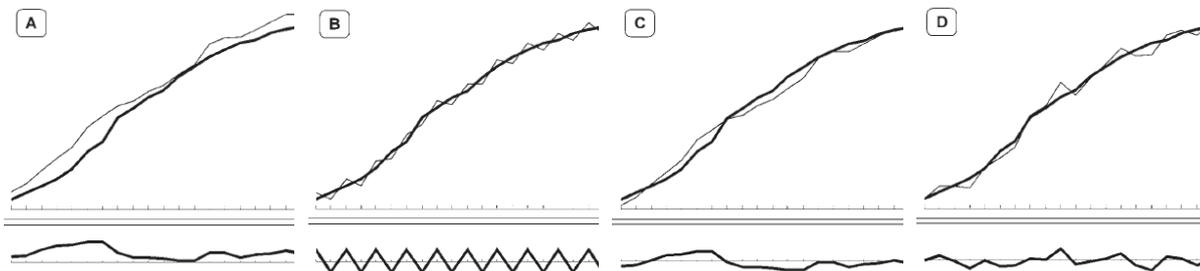


Abb. 5: Verschiedene Arten von Fehlern in DHMs. A und B: systematische Fehler, C: zufälliger Fehler ohne räumliche Autokorrelation, D: zufälliger Fehler mit räumlicher Autokorrelation. Oben: Die dicken Linien zeigen den wahren Wert der Erdoberfläche und die dünnen die Erdoberfläche mit Fehlern, so wie sie mit dem DHM modelliert wird. Unten: alleinige Darstellung der Fehler (Fisher und Tate 2006).

Während grobe und systematische Fehler häufig identifiziert und vor Veröffentlichung eines DHMs entfernt werden können, bleiben zufällige Fehler in den Daten bestehen, da das Wissen darüber, wie und wo sie genau entstehen, noch nicht ausreichend ist für deren Extraktion. Mithilfe verschiedenster Methoden können jedoch bis zu einem gewissen Grad zufällige Fehler in den einzelnen Zellen eines DHMs quantifiziert werden, wobei die Komplexität und der Rechenaufwand dieser Methoden sehr stark variiert. Herausgeber von DHMs kommunizieren häufig lediglich den *Root Mean Square Error* (deutsch: Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung, kurz: RMSE). Eine vergleichsweise einfache Methode zur Unsicherheitsberechnung mithilfe des RMSE basiert auf der Monte-Carlo-Simulation (Wechsler und Kroll 2006). Diese Methode wird auch bei der Vorbereitung der Studie verwendet. Die

Methode geht davon aus, dass das verwendete DHM nur eine mögliche Realisierung der wahren Erdoberfläche ist. Im Wesentlichen wird durch mehrfache Simulationen eine gewisse Anzahl (N) an zufälligen Fehlerfeldern generiert, wobei sich die Fehler im Rahmen des RMSE bewegen. Jedes Fehlerfeld wird zum DHM hinzugefügt, wodurch eine neue Realisierung des DHMs entsteht. Mithilfe dieser lässt sich die Unsicherheit schliesslich quantifizieren. Grösster Nachteil dieser Methode ist das Ignorieren des Sachverhalts, dass Fehler räumlich autokorreliert sind. Durch verschiedenste Filter, die in die Simulationen eingebaut werden, könnte diesem Nachteil jedoch entgegengewirkt werden. Wird dies nicht getan, sind die berechneten Unsicherheiten meistens grösser als die tatsächlichen, weshalb es sich um ein Worst-Case-Szenario bezüglich der Unsicherheit im DHM handelt (Wechsler und Kroll 2006).

Da die Hangneigung von DHMs abgeleitet wird, werden Fehler von DHMs in die Hangneigungsrechnung übertragen. Zusätzlich dazu können weitere Unsicherheiten durch die Berechnung entstehen (Fisher und Tate 2006). Weiterführende Informationen über die Effekte von Fehlern in DHMs auf die Berechnung der Hangneigung findet man in der Arbeit von Hunter und Goodchild (1997).

2.5. Kommunikation von Unsicherheiten

Seit Beginn der Forschung über Unsicherheiten in räumlichen Daten und dazugehörig über deren Ursachen, Möglichkeiten zur Berechnung sowie zur Modellierung ist sich die Wissenschaft weitestgehend einig, dass es von zentraler Bedeutung ist, dass Unsicherheiten in räumlichen Daten den Nutzern von räumlichen Daten effektiv kommuniziert werden. Nur so können die Nutzer die Stärken und Schwächen der Daten kennen und sie dementsprechend anwenden. Je nach Wissen des Datennutzers, Art der Daten, Art der Unsicherheiten und Anwendungsfeld der Daten muss die Kommunikation jedoch anders gestaltet werden (Reinke und Hunter 2002). Im Folgenden wird daher ein Modell vorgestellt, das aufzeigt, wie Unsicherheiten grundsätzlich kommuniziert werden.

Im Allgemeinen bedeutet Kommunikation, dass ein Absender eine Nachricht über einen Kanal schickt und diese von einem Empfänger empfangen wird (Stubjaer 1990 zit. in Reinke und Hunter 2002). Nach Beard und Mackaness (1993) braucht es drei Schritte, um Unsicherheiten zu kommunizieren: (1) Notifikation, (2) Identifikation und (3) Quantifizierung. Reinke und Hunter (2002) fügen diesem Modell den Schritt der Evaluation hinzu. Die vier Schritte sind in Abb. 6 dargestellt. Zu Beginn der Kommunikation stellt sich die Frage, ob überhaupt Informationen über Unsicherheiten im Datensatz vorhanden sind (Notifikation). Anschliessend muss sich die Frage gestellt werden, um welche Art von Unsicherheiten (räumliche, zeitliche oder Attributunsicherheiten) es sich handelt (Identifikation). Dann muss geklärt werden, wo und wie gross die Unsicherheiten im Datensatz sind (Quantifizierung). Dies ist der bis anhin komplexeste Schritt (Beard und Mackaness 1993). Abschliessend müssen sich Gedanken darüber gemacht werden, welchen Einfluss die Unsicherheiten auf die Verwendung des Datensatzes haben könnten (Evaluation), da dies relevant ist für die Wahl des Kommunikationsmittels (Reinke und Hunter 2002).

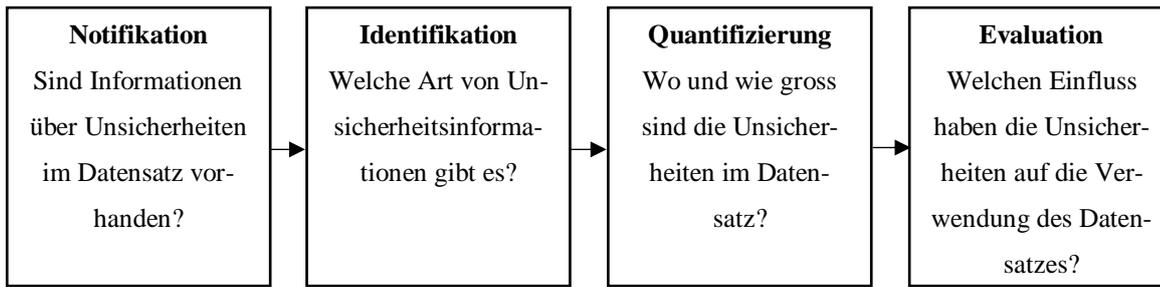


Abb. 6: Modell zur Kommunikation von Unsicherheiten nach Beard und Mackaness (1993) sowie Reinke und Hunter (2002).

Unsicherheiten in räumlichen Daten können auf verschiedene Art und Weisen kommuniziert werden. Einfachste und älteste Form ist die wortbasierte schriftliche Mitteilung der Unsicherheit (Hunter und Goodchild 1996). Schriftlich kann die Unsicherheit in Form eines Berichtes, der einem Datensatz oder einer Karte beigelegt wird, mitgeteilt werden. Nachteil dabei ist, dass die räumliche (visualisierte) Information und die eigentlich dazugehörige Unsicherheitsinformation voneinander getrennt sind (Evans 1997). Eine weitere Möglichkeit ist das Hinzufügen einer kurzen Angabe über die Unsicherheit auf einer Karte. Dabei handelt es sich meistens um eine globale Angabe, was bedeutet, dass eine einzige Aussage über die Genauigkeit/Unsicherheit der gesamten Karte gemacht wird. Bezüglich der exakten Lage und Grösse der Unsicherheiten können keine Rückschlüsse aus dieser Angabe gezogen werden (Hunter und Goodchild 1996). Trotz der Nachteile sind beide dieser schriftlichen Arten noch heute sehr verbreitet und werden von vielen Datenherausgebern, wie beispielsweise vom schweizerischen Bundesamt für Landestopographie (kurz: swisstopo), verwendet. Ebenfalls eine eher ältere Methode ist die Verwendung von Zuverlässigkeitsdiagrammen (englisch: *reliability diagrams*) am Rand von Karten. Doch auch aus diesen lassen sich keine exakten Informationen über den Ort und die Grösse der Unsicherheiten ableiten (Hunter und Goodchild 1996).

Um die Separation von Daten und deren Unsicherheitsangaben zu verhindern und Möglichkeiten zu schaffen, sowohl die Lage wie auch die Grösse der Unsicherheiten zu kommunizieren, lancierte das *National Center for Geographic Information and Analysis* (kurz: NCGIA) 1991 eine Initiative zum Thema «*Visualization of Data Quality*» (deutsch: Visualisierung der Datenqualität). Mithilfe der Initiative sollten Methoden entwickelt werden, um Unsicherheitsinformationen visuell direkt in kartographisches Material einzubinden (Beard *et al.* 1991). Seither befasst sich die Wissenschaft bis heute intensiv mit der Visualisierung von Unsicherheiten, um diese visuell dem Daten- bzw. Kartennutzer zu kommunizieren, während andere Techniken in den Hintergrund geraten sind. Vorteil der visuellen Kommunikation ist, dass sie unzählig viele Möglichkeiten bietet und daher flexibel an alle Gegebenheiten angepasst werden kann, was nach Reinke und Hunter (2002) eine Anforderung an eine Unsicherheitskommunikationstechnik ist.

Zur Vervollständigung soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass es nebst der heute vorherrschenden Kommunikation von Unsicherheiten mittels Visualisierungen auch Ansätze gibt, Unsicherheiten durch Sonifikation zu kommunizieren. Bei dieser Technik werden Unsicherheiten durch Klänge und Töne

kommuniziert, wodurch der Empfänger die Unsicherheitsinformationen statt mit seinen Augen mit seinem Gehör aufnimmt (Pang *et al.* 1997, MacEachren *et al.* 2005). Durch Verwendung verschiedener Instrumente und Tonlagen lassen sich dabei beispielsweise die Grösse der Unsicherheiten sowie mehrere Unsicherheitsarten gleichzeitig kommunizieren (Lodha *et al.* 1996). Diese spezielle Kommunikationstechnik konnte sich jedoch bis heute nicht durchsetzen, sodass es auch kaum Forschung dazu gibt.

2.6. Visualisierung der Unsicherheit

Seit Lancierung der Forschungsinitiative im Jahr 1991 zum Thema «*Visualization of Data Quality*» durch die NCGIA (Beard *et al.* 1991) befassen sich Wissenschaftler damit, wie Unsicherheiten visuell dargestellt werden können. Da Unsicherheit ein facettenreiches Konzept ist, es viele verschiedene Unsicherheiten gibt und die Visualisierungen von Unsicherheiten in verschiedenen Kontexten mit unterschiedlicher Zielsetzung zur Anwendung kommen, kann es nicht eine einzige optimale Unsicherheitsvisualisierungstechnik geben. Die Mehrzahl der Visualisierungstechniken wurde daher für spezifische Anwendungsbereiche entwickelt und ist für diese Bereiche optimiert (Kinkeldey *et al.* 2014a), was jedoch nicht bedeutet, dass sie nicht auch für andere Bereiche adaptiert werden kann. Andre und Cutler (1998) entwickelten beispielsweise Unsicherheitsvisualisierungsmethoden für Flugsicherungssysteme, um einen der spezifischen Bereiche zu nennen. Doch auch innerhalb eines bestimmten Gebietes ist es schwierig, eine bestmögliche Technik zu definieren. So stellten Retchless und Brewer (2016) auf der Suche nach einer optimalen Unsicherheitsvisualisierungsmethode für Klimaänderungskarten fest, dass es keine bestmögliche Technik gibt, sondern je nach Ziel der Klimaänderungskarte eine andere Technik angewendet werden sollte.

Um einen Überblick über die vielen verschiedenen Techniken zu erhalten, eine höhere Vergleichbarkeit der Techniken herbeizuführen und die Wahl einer passenden Methode zu erleichtern, ist es sinnvoll, die verschiedenen Techniken zu klassifizieren. Unsicherheitsvisualisierungen können auf verschiedene Art und Weisen klassiert werden (Pang 2001). Im Folgenden wird auf die Klassierung nach Kinkeldey *et al.* (2014a) eingegangen, da diese allumfassender ist als andere Klassierungen. Die Klassierung beruht auf fünf dichotomen Kategorien. Die fünf Kategorien sind: (1) explizit/implizit, (2) intrinsisch/extrinsisch, (3) visuell integral / visuell trennbar, (4) koinzident/nebeneinanderliegend und (5) statisch/dynamisch.

Explizit/implizit

Unsicherheiten können direkt (explizit) oder indirekt (implizit) dargestellt werden. Bei der expliziten Darstellung werden Unsicherheiten extrahiert und separat von der dazugehörigen Information modelliert, quantifiziert und dargestellt. In diesem Fall werden Unsicherheiten als spezifische Werte wahrgenommen, die zwar in Relation stehen zu den dazugehörigen Informationen, jedoch einzeln evaluiert werden sollen. Bei impliziten Visualisierungen sind Unsicherheiten hingegen ein inhärentes Merkmal der Daten, weshalb die Unsicherheiten nicht als separate oder zusätzliche Information, sondern einge-

bettet in die Daten visualisiert werden (Deitrick 2012). Da explizite Unsicherheitsvisualisierungen deutlich gebräuchlicher sind als implizite, gibt es kaum Literatur bezüglich impliziter Visualisierungen (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Intrinsisch/extrinsisch

Bei intrinsischen Visualisierungstechniken wird das Erscheinungsbild bestehender Objekte in den Karten verändert, um deren Unsicherheiten darzustellen. Dies geschieht hauptsächlich, jedoch nicht ausschließlich, durch Variation der visuellen Variablen. Bei extrinsischen Methoden werden hingegen zusätzliche Objekte der Visualisierung beigefügt, welche die Unsicherheiten repräsentieren, während die Objekte, auf die sich die Unsicherheiten beziehen, unverändert bleiben (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Visuell integral / visuell trennbar

Diese Kategorie fokussiert auf die kognitive Antwort des Betrachters (Kinkeldey *et al.* 2014). Bei einer visuell integralen Unsicherheitsvisualisierung kann die Bedeutung der Unsicherheit nicht separat von den Daten wahrgenommen werden, während eine visuell trennbare Unsicherheitsvisualisierung separat von den Daten gelesen werden kann (MacEachren *et al.* 1998). Da es sich bei visuell integralen Techniken in der Regel auch um intrinsische handelt und bei visuell trennbaren um extrinsische, zeigt diese Kategorie mit der vorherigen deutliche Überlappungen (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Koinzident/nebeneinanderliegend

Unsicherheiten können entweder in derselben Karte wie die primären Daten visualisiert (koinzident) oder in einer oder mehreren separaten Karten dargestellt werden (nebeneinanderliegend) (Kinkeldey *et al.* 2014a). Für diese unterschiedlichen Arten der Darstellung werden auch die Wörter univariat und bivariat bzw. in manchen Fällen multivariat verwendet. In univariaten Karten wird nur eine einzige Information dargestellt. Die Daten werden also in einer Karte und die Unsicherheiten in einer zusätzlichen Karte visualisiert (Retchless und Brewer 2016). Bivariate Karten zeigen zwei Variablen, folglich werden die Daten zusammen mit den Unsicherheiten dargestellt (MacEachren 1992). Werden zusätzliche Variablen oder mehrere Arten von Unsicherheiten in ein und derselben Karte visualisiert, handelt es sich um multivariate Karten (Viard *et al.* 2011).

Statisch/dynamisch

Bei dieser Kategorie wird unterschieden, ob die Unsicherheiten in einer klassischen statischen Karte visualisiert oder ob dynamische Elemente eingesetzt werden. Bei dynamischen Unsicherheitsvisualisierungen wird entweder mit Animationen gearbeitet und/oder mit interaktiven Kartennavigationselementen (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Basierend auf diesen dichotomen Kategorien haben Kinkeldey *et al.* (2014a) den *Uncertainty Visualization cube* (deutsch: Unsicherheitsvisualisierungswürfel, kurz: UVis³) entwickelt, mithilfe dessen jede Visualisierungstechnik beschrieben werden kann. Der UVis³ ist in Abb. 7 dargestellt. Die Kategorien implizit/explicit und visuell integral / visuell trennbar wurden weggelassen, da die grosse Mehrheit aller Techniken explizit ist und die Kategorie visuell integral / visuell trennbar eine ähnliche Angabe

macht wie die Kategorie intrinsisch/extrinsisch. Der Würfel macht deutlich, dass es acht verschiedene Kombinationen gibt, sprich grundsätzlich kann zwischen acht Arten, wie Unsicherheiten visualisiert werden können, unterschieden werden (Kinkeldey *et al.* 2014a).

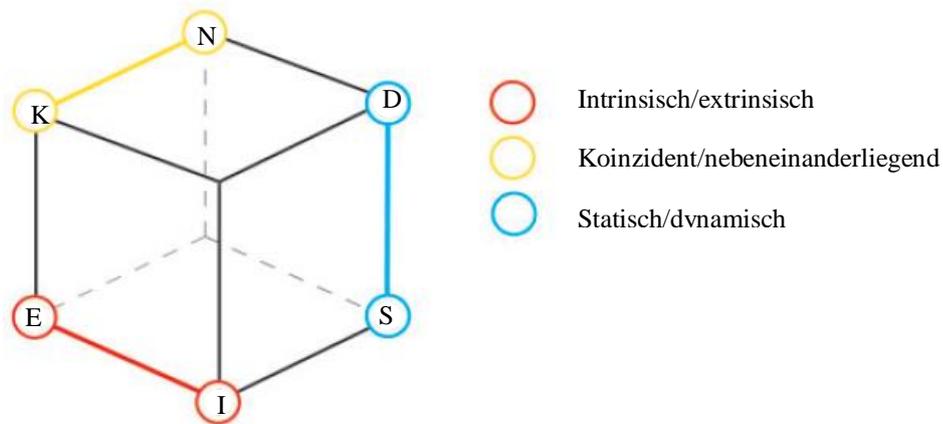


Abb. 7: UVis³ nach Kinkeldey *et al.* (2014a).

Wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Unsicherheitsvisualisierungstechniken ist die Beurteilung ihrer Effektivität. Generell sollten Unsicherheitsvisualisierungen intuitiv und gut verständlich sein (Pyy-salo und Oksanen 2014). Zu Beginn wurde angenommen, dass sich visualisierte Unsicherheiten wie andere zusätzlich zu einer Karte hinzugefügte Informationen verhalten. Das würde bedeuten, dass visualisierte Unsicherheiten die Kommunikation aller in der Karte enthaltenen Informationen einschliesslich der Unsicherheiten erschweren, da die Lesbarkeit der Karte aufgrund der Unsicherheitsvisualisierung abnimmt (Roth 2009). McGranahan (1993) warnte sogar davor, dass Visualisierungen von Unsicherheiten die Karte überladen können, wodurch die gesamte visuelle Kommunikation der Karte nicht mehr funktionieren würde. In Studien konnte jedoch gezeigt werden, dass, wenn richtig eingesetzt, Unsicherheitsvisualisierungen die Karte nicht überladen, sondern dazu beitragen, sie verständlicher zu machen (Leitner und Buttenfield 2000).

Um sicherzustellen, dass dies der Fall ist, und um die Effektivität von neu entwickelten Unsicherheitsvisualisierungstechniken beurteilen zu können, wurden eine Vielzahl an empirischen Studien durchgeführt. Bei diesen Studien mussten die Teilnehmer in der Regel Aufgaben ausführen, während verschiedene Parameter zur anschliessenden Bewertung der Aufgaben gemessen wurden. Die Bewertung der Aufgaben erfolgt entweder objektiv oder subjektiv. Bei objektiven Bewertungen enthalten die Aufgaben eine messbare Korrektheit, sodass eine Aussage darüber gemacht werden kann, wie korrekt die Antworten der Teilnehmer sind. Zu diesen Aufgaben gehören das Ablesen von numerischen Werten (entweder einzeln von den Daten oder den Unsicherheiten oder von den Daten zusammen mit den dazugehörigen Unsicherheiten), Rating-Aufgaben, Vergleiche von verschiedenen Regionen sowie das Erstellen von Rangordnungen aufgrund der Daten- und/oder Unsicherheitswerte. Bei subjektiven Bewer-

tungen gibt es keine messbare Korrektheit. Es wird stattdessen gemessen, wie intuitiv eine Visualisierung ist, was die Vorlieben der Teilnehmer sind, wenn sie mit mehreren Visualisierungen konfrontiert sind, und wie sicher sie sich ihrer Antworten sind (Angabe zur Entscheidungssicherheit).

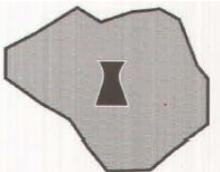
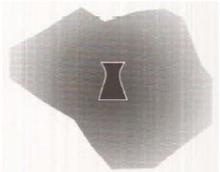
In den folgenden drei Unterkapiteln werden einige konkrete Unsicherheitsvisualisierungsmethoden vorgestellt. Ziel davon ist, einen Überblick über vorhandene Techniken zu schaffen und gleichzeitig die Erkenntnisse bezüglich derer Effektivität zu erläutern. Die Techniken werden gemäss den Achsen des UVis³ vorgestellt.

2.6.1. Intrinsisch/extrinsisch

Intrinsisch

Eine Vielzahl an Wissenschaftler erarbeite und teste intrinsische Methoden (Kinkeldey *et al.* 2014a). MacEachren (1992) schlägt als erster vor, die sieben fundamentalen graphischen Variablen nach Bertin für die intrinsische Visualisierung von Unsicherheiten zu variieren. Bei den sieben Variablen handelt es sich um: (1) Position, (2) Grösse, (3) Farbton, (4) Farbhelligkeit, (5) Textur, (6) Orientierung und (7) Form (Bertin 1967, 1983 zit. in MacEachren 1995). 1974 wurde zu dieser Liste die Variable Farbsättigung hinzugefügt (Morrison 1974 zit. in MacEachren 1992). Nach MacEachren (1992) eignen sich die Variablen Grösse und Farbton am besten zur Visualisierung von numerischen Unsicherheitsinformationen, während die Farbhelligkeit, die Form und die Orientierung am besten für nominale Unsicherheitsinformationen verwendet werden sollten. Die beste Variable, um Unsicherheiten zu visualisieren, ist nach MacEachren (1992) jedoch die Farbsättigung. So können gesättigte Farben beispielsweise sichere und ungesättigte unsichere Informationen repräsentieren. Zudem erweiterte MacEachren (1992) die bestehende Liste um die Variable Bildschärfe. Die Bildschärfe kann auf vier verschiedene Arten variiert werden: (1) Variation der Kantenschärfe, (2) Variation der Klarheit der Füllung, (3) Einfügen von Nebel sowie (4) Variation der Auflösung. Beispiele für die vier Arten sind in Tabelle 2 ersichtlich. Etwas später schlägt MacEachren (1995) vor, statt dem Begriff Bildschärfe den Begriff Deutlichkeit zu verwenden. Bei der Deutlichkeit kann die Klarheit (sowohl der Kanten wie auch der Füllung), die Transparenz sowie die Auflösung variiert werden, wobei die Transparenz den Nebel ersetzt.

Tabelle 2: Variationen der Variable Bildschärfe (MacEachren 1992, 1995).

Variation der Bildschärfe	Ohne Unsicherheit	Mit Unsicherheit
Kantenschärfe		

Klarheit der Füllung



Nebel



Auflösung



MacEachren (1992, 1995) entwickelte zwar die sieben vorgestellten Unsicherheitsvisualisierungstechniken, hat deren Effektivität jedoch nicht getestet. Deutlich später testeten MacEachren *et al.* (2012) in einer empirischen Studie, welche graphischen Variablen am besten geeignet sind für die Visualisierung von Unsicherheiten im Allgemeinen. Die Eignung bezieht sich dabei auf die Intuition, wobei sie testeten, welche Variablen am intuitivsten mit Unsicherheiten verbunden werden. Für die Studie wurden die Variablen auf Punktsignaturen angewendet. Alle getesteten Variablen sind in Abb. 8 dargestellt. Bertins Variable Textur wurde dabei aufteilt in die Variablen Körnung und Anordnung. Um beurteilen zu können, wie intuitiv die Variablen sind, mussten die Teilnehmer für jede Variable auf einer Skala von 1 (unlogisch) bis 7 (logisch) angeben, wie logisch es ist, dass die Darstellung Unsicherheit repräsentiert. Mithilfe der Studie fanden MacEachren *et al.* (2012) heraus, dass die Variablen Bildschärfe/Deutlichkeit, Position und Farbhelligkeit besonders geeignet sind, um Unsicherheiten auf einem ordinalen Level zu kommunizieren, da diese intuitiv besonders gut verständlich sind. Dabei ist jedoch zu beachten, was als sicher und was als unsicher bezeichnet wird. Die genannten Variablen sind nur

intuitiv verständlich, wenn die Unsicherheiten wie in Abb. 8 kodiert sind (unten = sicher, oben = unsicher). Eine umgekehrte Kodierung (unten = unsicher, oben = sicher) ist gegen die Intuition und daher nicht einfach verständlich (MacEachren *et al.* 2012).

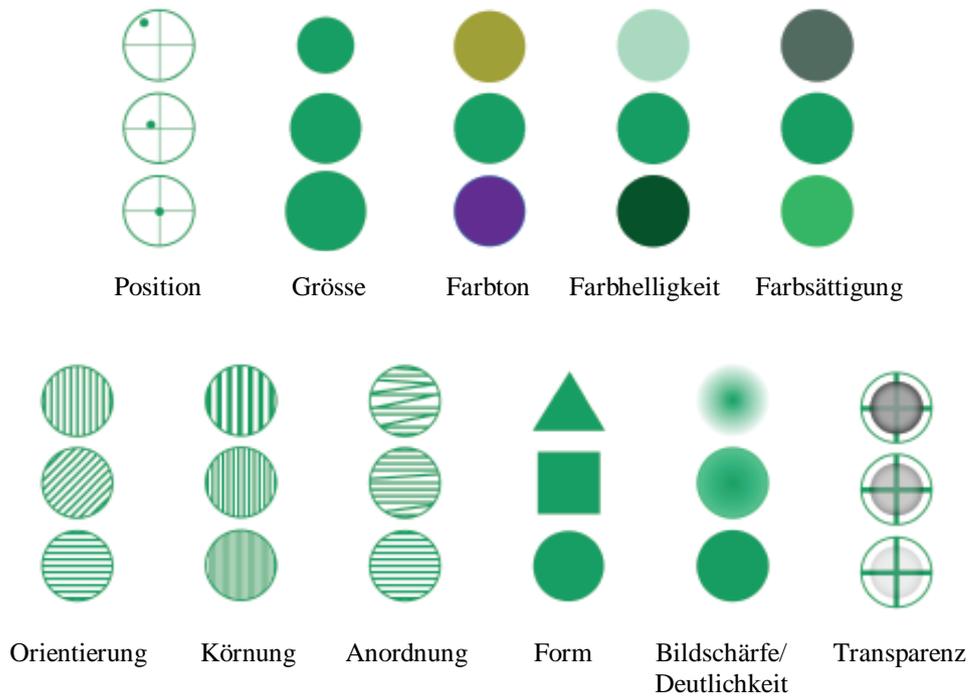


Abb. 8: Von MacEachren *et al.* (2012) getestete visuelle Variablen angewendet auf Punktsignaturen. Unten = sicher, oben = unsicher.

Die beschriebenen graphischen Variablen lassen sich mit einigen Ausnahmen sowohl auf punkt-, linien- wie auch auf flächenförmige Objekte anwenden, um die Unsicherheiten der Objekte intrinsisch darzustellen. Es gibt jedoch auch intrinsische Methoden, die speziell für eine dieser Objektarten entwickelt wurden. Boukhelifa *et al.* (2012) befassten sich beispielsweise mit Methoden, die besonders gut auf Linien angewendet werden können. Die vier von ihnen untersuchten und verglichenen Methoden sind in Abb. 9 dargestellt. Es handelt sich um: (1) Unschärfe (englisch: *blur*), (2) Farbhelligkeit (englisch: *greyscale*), (3) Stricheln (englisch: *dashing*) und (4) Skizzenhaftigkeit (englisch: *sketchiness*).

Während die ersten drei bekannte Methoden sind, wurde die Methode der Skizzenhaftigkeit neu von Boukhelifa *et al.* (2012) entwickelt. Die Methode variiert Linien insofern, als sie skizzenhafter oder wie von Hand gezeichnet aussehen, wenn Unsicherheiten vorhanden sind. Die Idee hinter der Technik ist im Grunde genommen, dass der Linie ein Rauschen hinzugefügt wird, um die Unsicherheit zu visualisieren (Boukhelifa *et al.* 2012). In Abb. 10 sind zwei Beispiele aufgeführt, wie die Skizzenhaftigkeit konkret angewendet werden könnte.

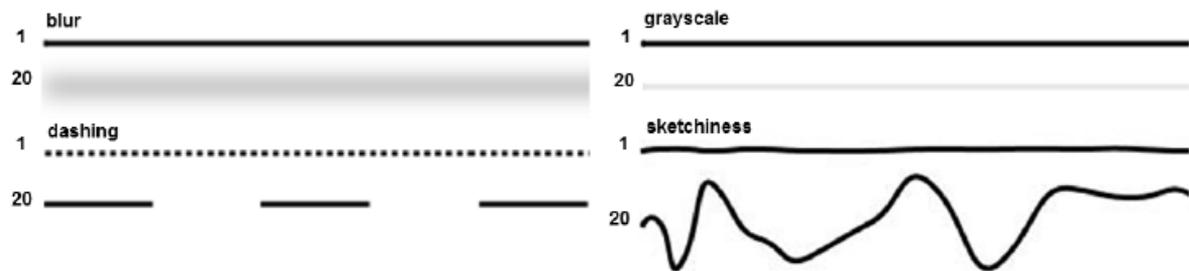


Abb. 9: Intrinsische Methoden, um Unsicherheiten von Linien darzustellen. Obere zwei: farbbasierte Methoden (Unschärfe und Farbhelligkeit), untere zwei: geometriebasierte Methoden (Stricheln und Skizzenhaftigkeit). Die obere Linie ist jeweils ohne Unsicherheit und die untere mit Unsicherheit (Boukhelifa *et al.* 2012).

Um die Methode der Skizzenhaftigkeit zu evaluieren, wurde auch in diesem Fall getestet, wie intuitiv Testpersonen die Skizzenhaftigkeit mit Unsicherheiten verbinden. Dabei kam heraus, dass gerade einmal 11.7% aller Testpersonen die skizzenhaften Linien korrekt als Unsicherheit interpretierten. Auch als die Testpersonen eine Auswahl mit möglichen Interpretationen bekamen, hielten nur 22% die skizzenhaften Linien für Linien mit Unsicherheiten. Auch die Unschärfe wurde von so wenigen intuitiv mit Unsicherheiten verbunden. Doch die Skizzenhaftigkeit wird nicht nur nicht intuitiv als Unsicherheit wahrgenommen, sie wird teilweise auch so falsch interpretiert, dass die Visualisierung der Unsicherheit mittels dieser Technik eher schadet statt hilfreich ist. Eine Mehrzahl der Testpersonen nahm die Skizzenhaftigkeit in der Studie als Änderung der Geometrie wahr. Sie dachte also fälschlicherweise, dass es sich bei der skizzenhaften Linie z.B. um einen geschwungen statt einen geraden Weg handelt. Aus diesem Grund raten Boukhelifa *et al.* (2012) deutlich davon ab, die Skizzenhaftigkeit als Unsicherheitsvisualisierungstechnik in Karten zu verwenden wie dies in Abb. 10 getan wurde.



Abb. 10: Skizzenhaftigkeit als intrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik. Die roten Pfeile weisen auf die Linien mit Unsicherheiten (Boukhelifa *et al.* 2012).

Extrinsisch

Extrinsische Methoden fügen der Karte zusätzliche Objekte hinzu. Obwohl diese Art der Unsicherheitsvisualisierung in der Minderheit ist, gibt es eine gute Anzahl an Techniken, auf die zurückgegriffen werden kann (Kinkeldey *et al.* 2014a). Genauer gesagt werden bei extrinsischen Methoden der Karte entweder Bildzeichen (englisch: *glyphs*, im Folgenden daher Glyphs genannt) oder Fehlerbalken hinzugefügt oder es werden Texturen bzw. Muster über die Karte gelegt (Deitrick und Wentz 2015). Anders

als Visualisierungen mit intrinsischen Methoden haben Visualisierungen mit extrinsisch visualisierten Unsicherheiten eher die Tendenz, Unsicherheiten als separate Informationen zu behandeln statt als Informationen, die untrennbar zu den primären Informationen gehören (Pang 2001).

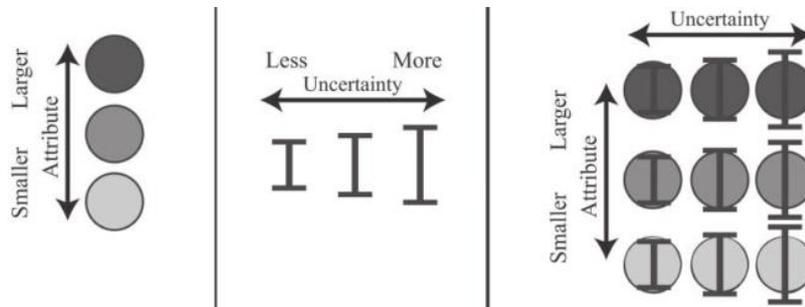


Abb. 11: Verwendung von Fehlerbalken als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungsmethode. Je grösser der Fehlerbalken ist, desto grösser ist die Unsicherheit (Deitrick und Wentz 2015).

In Abb. 11 ist schematisch dargestellt, wie Fehlerbalken den Symbolen einer Karte hinzugefügt werden können, um deren Unsicherheiten zu visualisieren. Da diese Methode kaum thematisiert wird in der Unsicherheitsvisualisierungsforschung innerhalb des geographischen Kontextes, wird im Gegensatz zu den anderen extrinsischen Möglichkeiten nicht weiter darauf eingegangen.

Glyphs sind graphische Objekte, in der Regel Punktsymbole, bei denen eine Vielzahl an visuellen Variablen variiert werden können, um mehrere Aspekte der zu kommunizierenden Daten darzustellen (Pang 2001, MacEachren *et al.* 2005). Ein Pfeilsymbol ist beispielsweise ein Glyph (Gershon 1998). Glyphs wurden anfänglich hauptsächlich im Kontext der wissenschaftlichen Visualisierung (englisch: *scientific visualization*) eingesetzt (Lodha *et al.* 1996), seit Pang (2001) jedoch deren Gebrauch im geographischen Kontext vorgeschlagen hat, gehören sie zu den häufig eingesetzten extrinsischen Unsicherheitsvisualisierungstechniken.

Ein gutes Beispiel, wie Glyphs als Unsicherheitsvisualisierungstechnik eingesetzt werden können, geben Cliburn *et al.* (2002) und Slocum *et al.* (2003). Das vierköpfige Forscherteam, das hinter diesen zwei Papers steht, entwickelte eine Software, um die Resultate eines Wasserbilanzmodells und dessen Unsicherheiten zu visualisieren. Die Unsicherheiten der einzelnen Modellparameter visualisierten sie dabei mithilfe von senkrechten Säulen, bei denen es sich um Glyphs handelt. In Abb. 12 ist für den Staat Kansas in den USA zu sehen, wie die Unsicherheiten der Modellparameter auf diese Weise dargestellt werden. In jeder Rasterzelle hat es vier Säulen. Die Farbe der Säulen zeigt, um welchen Parameter es sich handelt, und die Grösse der Säulen zeigt die Grösse der Unsicherheit. Je grösser eine Säule ist, desto unsicherer ist der Modellparameter. Da die Säulen sich sowohl über als auch unter der Oberfläche befinden können, wird mit den Glyphs auch angegeben, ob es sich um eine positive oder negative Abweichung handelt (Cliburn *et al.* 2002). Es wird klar, dass durch diese Unsicherheitsvisualisierungstechnik eine Menge an Informationen kommuniziert werden kann. Cliburn *et al.* (2002) räumen jedoch auch ein, dass durch diese Technik die Visualisierungen schnell überladen sind und zu viele Informationen enthalten. Aus diesem Grund bauten Cliburn *et al.* (2002) interaktive Werkzeuge ein, sodass der Benutzer selber entscheiden kann, wie viele Informationen er auf einmal sehen will. Bei der Evaluation der

Technik zeigte sich, dass diese besonders von Experten geschätzt wird, gerade weil sie viele detaillierte Informationen enthält (Slocum *et al.* 2003).

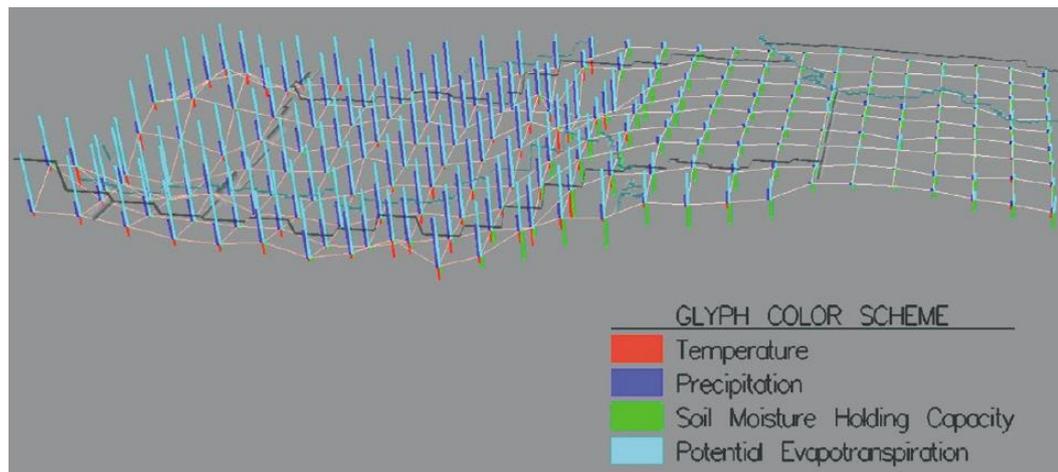


Abb. 12: Vertikale Säulen (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik. Jede Säule zeigt die Unsicherheit eines Modellparameters eines Wasserbilanzmodells. Je grösser die Säule ist, desto grösser ist die Unsicherheit (Cliburn *et al.* 2002).

Nicht nur Cliburn *et al.* (2002) mussten einsehen, dass Glyphs das Potenzial haben, Visualisierungen zu überladen, denn auch Pang (2001) warnte davor, dass bei der Verwendung von Glyphs Visualisierungen visuell überfordernd sein könnten. Dass dies jedoch nicht der Fall sein muss, zeigen Hope und Hunter (2007b), die vergleichsweise einfache Glyphs einsetzen, um die Unsicherheiten einer Bodeneignungskarte darzustellen. Als Glyphs verwendeten sie Zylinder (siehe Abb. 13). In jeder Zone der Karte wurde ein Zylinder platziert, wobei die Zylinder entweder voll oder leer sind. Volle Zylinder stehen für grosse Sicherheit, was bedeutet, dass die Unsicherheit gering ist, und leere Zylinder stehen dementsprechend für geringe Sicherheit oder grosse Unsicherheit (Hope und Hunter 2007b). Der Vergleich mit den vertikalen Säulen zeigt deutlich, dass diese Art von Glyphs weniger Informationen kommunizieren, jedoch dafür die Visualisierung nicht überladen.

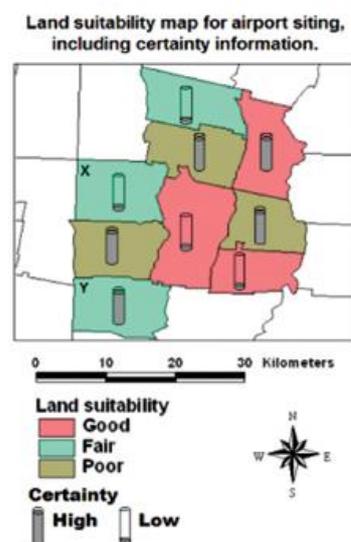


Abb. 13: Zylinder (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik. Volle Zylinder stehen für grosse und leere Zylinder für geringe Unsicherheit (Hope und Hunter 2007b).

Räumliche Unsicherheiten eines Objekts werden im digitalen Kontext häufig durch eine der Karte hinzugefügte Kreisfläche dargestellt, wobei sich das Objekt in der Mitte der Kreisfläche befindet. Bei einer solchen Kreisfläche handelt es sich ebenfalls um ein Glyph. Bekannt ist diese Unsicherheitsvisualisierungstechnik hauptsächlich, da sie von Google Maps¹ eingesetzt wird (McKenzie *et al.* 2016). Ein Beispiel, wie solche Kreisflächen in Google Maps¹ angewendet werden, ist in Abb. 14 zu sehen.



Abb. 14: Kreisflächen (Glyphs) als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik in Google Maps¹. Links: geringere Unsicherheit, rechts: grössere Unsicherheit (Google Maps).

Um zu überprüfen, wie effektiv die Methode von Google Maps für die Darstellung von Lageunsicherheiten ist, verglichen McKenzie *et al.* (2016) diese Methode mit einer ähnlichen von ihnen entwickelten Methode, die sie *Gaussian fade* nannten. Bei der *Gaussian fade* Methode, ist die Kreisfläche nicht durch eine Linie begrenzt (siehe Abb. 15: links), sondern sie läuft langsam aus, was eine detailliertere Kommunikation der Unsicherheit ist (siehe Abb. 15: rechts). Der Vergleich zeigte, dass die einfachere Technik mit einer deutlich begrenzten Kreisfläche reicht, um das Konzept der Unsicherheit verständlich zu kommunizieren und die detailreichere und theoretisch exaktere Darstellung hingegen irreführend sein kann.



Abb. 15: Zwei extrinsische Methoden, um räumliche Unsicherheiten darzustellen. Links: Methode nach Google Maps, rechts: *Gaussian fade* nach McKenzie *et al.* (2016).

Statt mit Glyphs können Unsicherheiten auch mit Texturen oder Mustern, die über die gesamte Karte gelegt werden, visualisiert werden. Die Texturen können dabei von unterschiedlicher Komplexität sein. MacEachren *et al.* (1998) entwickelten eine vergleichsweise komplexe gestrichelte Textur, die sie verwendeten, um Unsicherheiten in Karten über das Gesundheitswesen der USA zu visualisieren. Im Detail handelt es sich bei dieser Textur um parallele Linien, die entlang ihrer Länge geteilt sind und wovon die

¹ <https://www.google.ch/maps/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

eine Hälfte schwarz und die andere Hälfte weiss ist (siehe Abb. 16: oben). Das spezielle an dieser Unsicherheitsvisualisierungstechnik ist, dass bei einem dunklen Hintergrund der weisse Teil, bei einem hellen Hintergrund der schwarze Teil und bei einem Hintergrund mit mittlerer Helligkeit der Kontrast von schwarz und weiss hervorsticht (MacEachren *et al.* 1998). Die Textur eignet sich daher auch besonders, wenn die darunterliegenden Daten mit einer divergierenden Farbskala visualisiert werden (siehe Abb. 16: unten) (Brewer 2016).

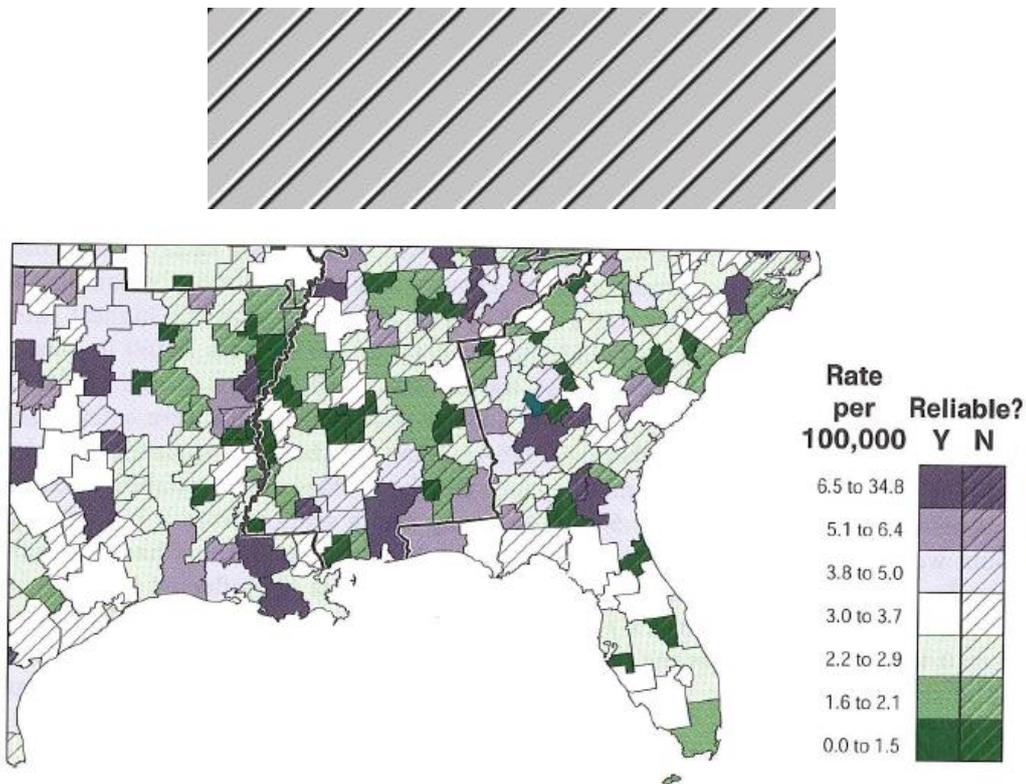


Abb. 16: Schwarz-Weiss gestrichelte Textur als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik nach MacEachren *et al.* (1998). Oben: Textur auf grauem Hintergrund (eigene Grafik), unten: Textur angewendet auf eine Karte mit divergierender Farbskala (MacEachren *et al.* 1998).

Um die Textur zu evaluieren, führten MacEachren *et al.* (1998) eine Studie aus, in der Teilnehmer in verschiedenen Aufgaben u.a. unterschiedliche Werte aus Karten herauslesen oder Regionen vergleichen mussten. Die Evaluation ergab, dass die Textur insgesamt sehr gut geeignet ist, um Unsicherheiten zu kommunizieren. Die Teilnehmer konnten problemlos die darunterliegenden Daten wie auch die Unsicherheiten herauslesen. Auch hinderte die Unsicherheit die Teilnehmer nicht daran, Cluster in den Daten zu erkennen.

Auf der Suche nach einer optimalen Visualisierungstechnik für Unsicherheiten in Klimaänderungskarten setzten Retchless und Brewer (2016) in ihrer Studie nebst intrinsischen Methoden drei Texturen als extrinsische Methoden ein, um Unsicherheiten zu visualisieren. Die drei Texturen sind in Abb. 17 dargestellt. Sie verwendeten einerseits die soeben vorgestellte Textur von MacEachren *et al.* (1998, Abb. 17: links), eine punktbasierte Textur (Abb. 17: Mitte) sowie eine viereckbasierte Textur (Abb. 17: rechts), die auch schon von Drecki (2002) verwendet wurde. Bei der Punkttextur können sowohl die

Helligkeit wie auch die Anordnung der Punkte variiert werden, um zusätzlich den Grad der Sicherheit bzw. Unsicherheit anzugeben (Brewer 2016, Retchless und Brewer 2016). In diesem Fall ist die Unsicherheit grösser, je ungeordneter die Punkte sind. Bei der viereckbasierten Textur ist die Unsicherheit umso grösser, je kleiner oder engmaschiger die Vierecke sind (Retchless und Brewer 2016). Die Studie, die zur Evaluation durchgeführt wurde, zeigte, dass die Punkttextur subjektiv die beliebteste ist und die schwarz-weiss gestrichelte Textur die unbeliebteste. Die Aufgaben wurden jedoch mit allen drei Texturen gleich gut gelöst.

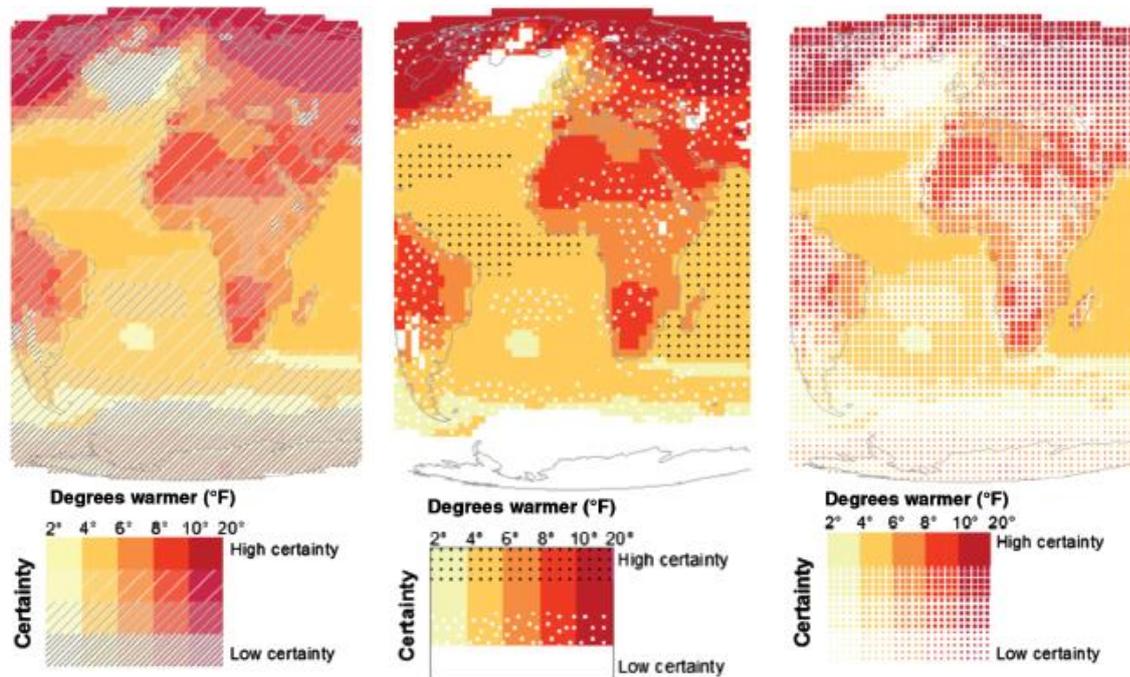


Abb. 17: Drei Texturen als extrinsische Unsicherheitsvisualisierung in Klimaänderungskarten. Links: schwarz-weiss gestrichelte Textur, Mitte: Punkttextur, rechts: viereckbasierte Textur (Retchless und Brewer 2016).

Zuletzt soll an dieser Stelle noch die rasterbasierte extrinsische Unsicherheitsvisualisierung von Kinkeldey und Schiewe (2012) und Kinkeldey *et al.* (2013, 2014b) vorgestellt werden, da sie nochmals einen anderen Ansatz hat als die bisher vorgestellten extrinsischen Methoden. Ihre Methode wird *Noise Annotation Lines* genannt. Bei dieser Methode wird ein regelmässiges Gitter über eine Karte gelegt. Das Gitter wird je nach Unsicherheiten an einem Gitterpunkt lokal in seiner Gestalt modifiziert (Kinkeldey und Schiewe 2012). Verändert wird die Gestalt des Gitters durch Hinzufügen eines Rauschens (englisch: *noise*) zu den Gitterlinien. Je mehr Rauschen es hat, also je dicker die Gitterlinien sind, desto grösser ist die Unsicherheit (Kinkeldey *et al.* 2013). Das Rauschen wird erzeugt durch viele kleine Punkte, wobei die Anzahl Punkte, die das Rauschen repräsentieren, unabhängig von der Stärke des Rauschens immer gleich bleibt. Besonders geeignet ist diese Methode für Attributunsicherheiten in Fernerkundungsdaten (Kinkeldey und Schiewe 2012). In Abb. 18 ist eine aus Fernerkundungsdaten generierte Bodenbedeckungskarte zu sehen, in der die Unsicherheiten der Bodenklassierung mit dieser Methode visualisiert sind. In Bezug auf die Effektivität ergab eine erste Evaluation, dass höchstens sechs verschiedene Levels

von Unsicherheiten visualisiert werden können. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Unsicherheiten nur effektiv herausgelesen werden können, wenn die Dicke der Gitterlinien beim Rauschen sowie die Anzahl Punkte sorgfältig aufeinander abgestimmt sind (Kinkeldey *et al.* 2014b).

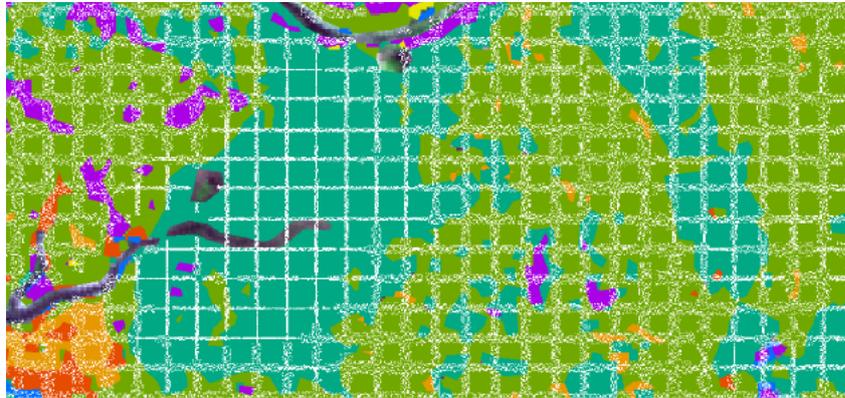


Abb. 18: *Noise Annotation Lines* als extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechnik in einer Bodennutzungskarte. Das Rauschen der Gitterlinien repräsentiert die Unsicherheiten. Je grösser das Rauschen ist, desto grösser sind die Unsicherheiten (Kinkeldey *et al.* 2013).

Intrinsisch versus extrinsisch

Die obigen Ausführungen haben gezeigt, dass sowohl intrinsische wie auch extrinsische Methoden effektiv angewendet werden können, um Unsicherheiten zu kommunizieren. Es stellt sich also die Frage, in welchem Fall intrinsische und in welchem Fall extrinsische Methoden besser sind und daher angewendet werden sollten. Konkrete Richtlinien diesbezüglich sind (noch) nicht vorhanden, einige Forscher äusserten sich jedoch, basierend auf den Erkenntnissen aus ihren Studien, zu dieser Frage und geben somit einige Anhaltspunkte bei der Wahl einer passenden Unsicherheitsvisualisierungstechnik.

Cliburn *et al.* (2002) und Slocum *et al.* (2003) stellten beim Verwenden beider Methoden fest, dass Experten mit wissenschaftlichem Hintergrund extrinsische Methoden (solche mit Glyphs) bevorzugen, da damit eher höchst detaillierte Informationen kommuniziert werden können. Laien bevorzugen hingegen intrinsische Methoden, da diese eher einen generellen Überblick geben und das grosse Ganze kommunizieren.

In Bezug auf die Art der Daten halten Kunz *et al.* (2011) fest, dass intrinsische Methoden eher geeignet sind, quantitative Unsicherheitsinformationen zu kommunizieren, wohingegen extrinsische Techniken eher für qualitative Informationen geeignet sind. Auch Kinkeldey *et al.* (2014b) vertreten die Ansicht, dass ihre extrinsische Methode (*Noise Annotation Lines*) vor allem dazu geeignet ist, Unsicherheiten qualitativ zu kommunizieren.

Des Weiteren sind Kinkeldey *et al.* (2013, 2014b) der Meinung, dass extrinsische Methoden, besonders jene die gitterbasiert sind, sich besser eignen, wenn die primären Daten von grosser Variabilität sind. Karten mit vielen geometrisch und thematisch diversen Objekten wie z.B. Landnutzungskarten sind an und für sich bereits komplexe Visualisierungen, weshalb eine extrinsische Technik gewählt werden sollte, da diese die Objekte der bereits komplexen Visualisierungen nicht verändert, wie intrinsische Methoden das tun.

Retchless und Brewer (2016) haben festgestellt, dass je nach dem Ziel, das mit der Karte verfolgt wird, intrinsische oder extrinsische Methoden besser geeignet sind. Wenn die primären Informationen und die Unsicherheiten unabhängig voneinander ablesbar sein sollten, dann sind extrinsische Methoden deutlich besser geeignet. Beide Methoden eignen sich jedoch gleichermaßen, wenn das Ziel ist, die primären Informationen und die Unsicherheiten gleichzeitig herauslesen zu können.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Wahl zwischen einer intrinsischen oder extrinsischen Methode abhängt vom Kartennutzer, der Art der Daten, dem Ziel der Karte sowie vom spezifischen Anwendungsbereich.

2.6.2. Koinzident/nebeneinanderliegend

Unsicherheiten können entweder zusammen mit den primären Daten in derselben Karte (koinzident) oder separat von den primären Daten in einer oder mehreren zusätzlichen Karten visualisiert werden (nebeneinanderliegend). Zwei offensichtliche Unterschiede sind, dass bei einer koinzidenten Visualisierung mehr Informationen in derselben Karte vorhanden sind, was die Karte komplexer macht, und dass bei nebeneinanderliegenden Karten mehr Augenbewegungen benötigt werden, um Informationen aus den Karten zu lesen. Jede Visualisierungsart hat also einen deutlichen Nachteil gegenüber der anderen (Kinkeldey *et al.* 2014a). Zu Beginn der Unsicherheitsvisualisierungsforschung wurde hauptsächlich mit nebeneinanderliegenden Karten gearbeitet, da angenommen wurde, dass unerfahrene Kartenleser erhebliche Schwierigkeiten haben, bivariate Karten zu lesen (MacEachren 1992). Seither gibt es eine gute Anzahl an Studien, die direkt vergleichen, ob koinzidente oder nebeneinanderliegende Unsicherheitsvisualisierungstechniken effektiver sind.

Gerharz und Pebesma (2009) verglichen in ihrer Studie zwei nebeneinanderliegende Karten, mit einer Karte, in der die Unsicherheiten intrinsisch dargestellt wurden. Die Studienteilnehmer mussten mit beiden Arten von Karten Aufgaben lösen, bei denen es hauptsächlich darum ging, Werte korrekt aus den Karten herauszulesen und verschiedene Regionen miteinander zu vergleichen. Dabei zeigte sich deutlich, dass die Antworten der Teilnehmer korrekter waren, wenn die primären Daten und die Unsicherheiten separat dargestellt wurden. Bei der koinzidenten Darstellung hatten die Teilnehmer hauptsächlich Mühe, die Unsicherheit korrekt herauszulesen. Zudem drückten die Teilnehmer klar aus, dass sie die nebeneinanderliegenden Karten bevorzugen. Auch wenn die Teilnehmerzahl dieser Studie sehr gering war und die Ergebnisse daher nicht auf statistische Signifikanz getestet werden konnten, deuten die Resultate darauf hin, dass bivariate Karten für den Kartennutzer zu komplex sein können und daher separate Darstellungen zu bevorzugen sind.

Zu einer ähnlichen Erkenntnis kamen Kubíček und Šašinka (2011). Sie verglichen zwei nebeneinanderliegende Karten mit einer koinzidenten Karte im Kontext von Karten über die Bodentiefe. Die verglichenen Karten sind in Abb. 19 zu sehen. Auch in ihrer empirischen Studie mussten die Teilnehmer verschiedene Werte aus der Karte herauslesen. Es zeigte sich, dass bei der Aufgabe, einen primären Wert zusammen mit dem dazugehörigen Unsicherheitswert herauszulesen, die Leistung der Teilnehmer leicht besser war, wenn sie die zwei nebeneinanderliegenden Karten verwendeten. In Bezug auf die

Entscheidungszeit stellte sich jedoch heraus, dass die Teilnehmer die Aufgaben schneller lösen konnten, wenn sie die koinzidente Karte verwendeten.

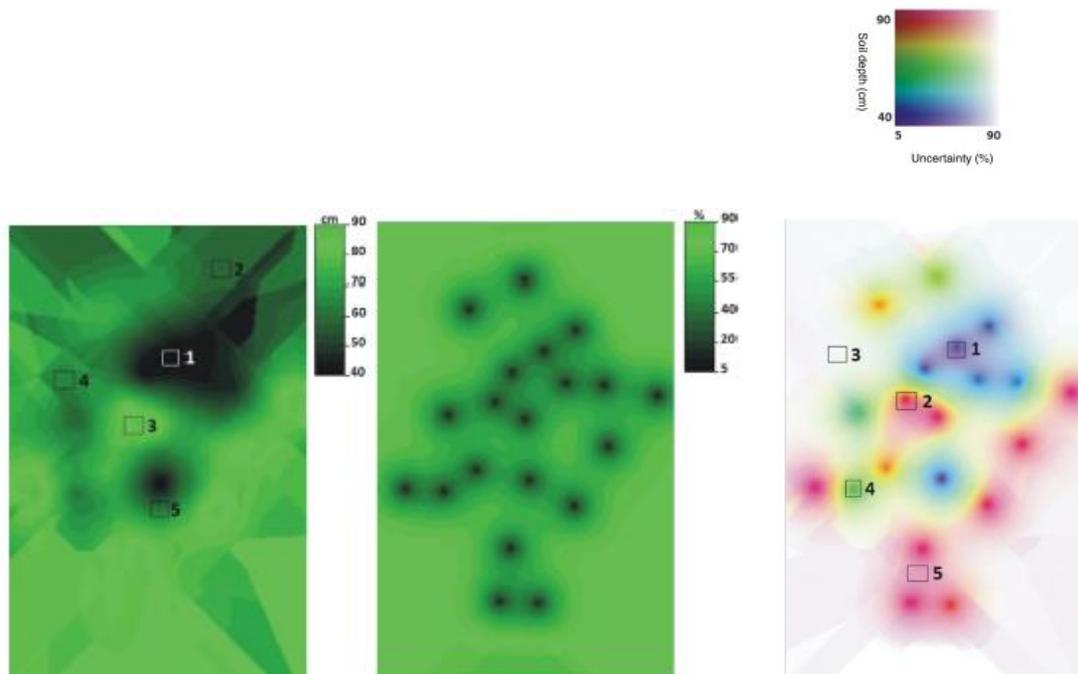


Abb. 19: Visualisierung der Bodentiefe (cm) und der Unsicherheit (%) in zwei separaten Karten (links und Mitte) oder koinzident in einer Karte (rechts) (Kubíček und Šašinka 2011).

MacEachren *et al.* (1998) verglichen im Kontext von Daten über das Gesundheitswesen der USA die Lesbarkeit koinzidenter Karten (sowohl mit intrinsischen wie auch mit extrinsischen Techniken) mit derjenigen eines entsprechenden nebeneinanderliegenden Kartenpaars. Die Teilnehmer der Studie mussten Aufgaben auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene lösen, bei denen es darum ging, Werte herauszulesen und Clusters zu identifizieren. Während die Teilnehmer die Aufgaben mit der koinzidenten, intrinsischen Unsicherheitsvisualisierungstechnik eher schlecht lösten, gab es keine Unterschiede hinsichtlich ihrer Leistung in Bezug auf die koinzidente, extrinsische Unsicherheitsvisualisierungsmethode einerseits und das nebeneinanderliegende Kartenpaar andererseits. Als die Teilnehmer allerdings in einer Aufgabe Regionen identifizieren mussten, bei denen Vorsicht geboten war, schnitten sie am besten ab, wenn die Unsicherheiten zusammen mit den primären Daten visualisiert waren. Die Studie von MacEachren *et al.* (1998) sagt also aus, dass koinzidente Visualisierungen genauso gut, wenn teilweise nicht sogar besser sind, als nebeneinanderliegende Visualisierungen.

Diese Erkenntnis wird bekräftigt durch die Studie von Viard *et al.* (2011). In dieser vergleichen die Forscher die Effektivität von koinzidenten und nebeneinanderliegenden Karten im Kontext von geologischen Untergrundkarten eines echten Erdölfeldes im Mittleren Osten. Die Aufgabe der Studienteilnehmer war, die optimalste Stelle für eine neue Bohrung zu eruieren, wobei die Aufgaben in verschiedene Schwierigkeitsstufen unterteilt waren. Die Aufgaben in dieser Studie waren jedoch insgesamt deutlich komplexer als diejenigen der bisher vorgestellten Studien. Die Auswertung ergab, dass bei den einfachen Aufgaben mit beiden Varianten gleich gute Resultate erzielt wurden. Bei den schwierigen

Aufgaben lösten die Teilnehmer hingegen die Aufgaben deutlich besser mit der bivariaten Karte als mit den nebeneinanderliegenden, univariaten. Viard *et al.* (2011) schliessen daraus, dass bei komplexen Fragestellungen nebeneinanderliegende Karten kognitiv überfordernd sein können, da komplexe Informationen aus zwei Quellen extrahiert und zusammengesetzt werden müssen. Kompakte Visualisierungen der primären Daten zusammen mit den Unsicherheiten sind daher zu bevorzugen.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass es Studien gibt, die für nebeneinanderliegende Kartenpaare sprechen, und solche, die für eine einzelne Karte sprechen, in der die primären Daten zusammen mit den Unsicherheiten dargestellt sind. Im Allgemeinen ist jedoch heute die verbreitete Meinung, dass koinzidente Karten zu bevorzugen sind, wenn es darum geht, simultan Informationen der primären Daten wie auch der Unsicherheit zu extrahieren. Ist jedoch die Karte an und für sich schon so komplex, dass die koinzidente Visualisierung der Unsicherheit sie visuell überladet, können auch nebeneinanderliegende Karten verwendet werden, da mit diesen in dem meisten Fällen genauso gute Resultate erzielt werden können (Kinkeldey *et al.* 2014a).

2.6.3. Statisch/dynamisch

Klassische Karten sind statisch und bieten keinerlei Möglichkeiten, mit der Karte zu interagieren. Bisher wurden Unsicherheitsvisualisierungstechniken vorgestellt, die normalerweise auf klassische statische Karten angewendet werden. Praktisch alle so hergestellten Karten können jedoch, sofern es keine Papierkarten sind, mit einer Vielzahl an interaktiven Werkzeugen ergänzt werden, um die Karten dynamisch zu machen. Zusätzlich haben einige Forscher Unsicherheitsvisualisierungstechniken entworfen, die Animationen beinhalten, wodurch die Karten ebenfalls dynamisch sind. Da interaktive Werkzeuge und animierte Elemente auf verschiedenste Art und Weisen kombiniert und in Karten eingebaut werden können, gibt es so zusätzlich zahlreiche mögliche Ansätze, um Unsicherheiten zu visualisieren (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Bereits MacEachren (1992) äusserte die Idee, ein Werkzeug einzubauen, mit dem zwischen einer Karte mit den primären Daten und einer Karte mit Unsicherheitsinformationen hin und her gewechselt werden kann, statt beide Karten nebeneinander zu präsentieren. Das Hin-und-her-Wechseln wird auf Englisch als *toggling* bezeichnet. *Toggling*-Werkzeuge gehören zu den am häufigsten eingesetzten interaktiven Werkzeugen bei Unsicherheitsvisualisierungen. Sowohl Evans (1997) wie auch Aerts *et al.* (2003) bauten u.a. *Toggling* in ihre Unsicherheitsdarstellungen ein und analysierten, wie effektiv das *Toggling* ist und wie diese dynamischen Karten im Vergleich zu statischen abschneiden.

Evans (1997) konfrontierte in ihrer Studie die Studienteilnehmer mit einer Bodennutzungskarte, einer 95%-Zuverlässigkeitskarte (eine univariate Karte, die zeigt, wo die Unsicherheiten sind), einer koinzidenten Karte, die beide Informationen gleichzeitig enthält, sowie einer animierten blinkenden (englisch: *flickering*) Karte. Bei der *Flickering*-Karte waren abwechselungsweise die normale Bodennutzungskarte und die koinzidente Karte mit den integrierten Unsicherheitsinformationen zu sehen. Mit Hilfe der Karten mussten die Teilnehmer verschiedene Fragen beantworten, wobei sie die Möglichkeit hatten, mit einem *Toggling*-Werkzeug zwischen den drei statischen Karten hin und her zu wechseln. An

dieser Stelle sind zwei Punkte der Auswertung besonders interessant. Die Auswertung zeigte, dass mit den statischen Karten etwas bessere Resultate erzielt wurden als mit der *Flickering*-Karte. Die Teilnehmer bewerteten subjektiv beide Arten jedoch als gleich nützlich. Des Weiteren ergab die Auswertung, dass die Teilnehmer, die *Toggling* verwendeten, leicht besser waren als die Teilnehmer, die *Toggling* nicht benutzten. Es lässt sich daraus jedoch nicht schliessen, dass *Toggling* wirklich nützlich ist und zu besseren Resultaten führt, denn nach Evans (1997) könnte der Unterschied auch darauf zurückzuführen sein, dass Personen, die *Toggling* anwenden, möglicherweise eine höhere Intelligenz haben oder wissbegieriger sind und daher besser abschneiden.

Aerts *et al.* (2003) entwickelten ein Stadtentwicklungsmodell und wendeten zwei Methoden an, um dessen Unsicherheiten zu visualisieren. Bei den zwei Methoden handelte es sich einerseits um zwei nebeneinanderliegende Karten und andererseits um zwei Karten, zwischen denen durch benützen des *Toggling*-Werkzeugs hin und her gewechselt werden konnte. In einer empirischen Online-Studie testeten sie beide Methoden und verglichen deren Effektivität und Beliebtheit. Die Auswertung zeigte, dass mit beiden Methoden die Unsicherheiten des Modells gut herausgelesen werden konnten. 72% aller Teilnehmer bevorzugten jedoch die statische Methode und viele Teilnehmer empfanden die Methode mit *Toggling* teilweise sogar als nervig. Aerts *et al.* (2003) schlussfolgern, dass *Toggling* nützlich sein kann, jedoch auch das Potenzial hat, die Benutzer mit der Zeit etwas zu stören.

Statt interaktive Werkzeuge setzte Fisher (1993) Animation ein, um Klassierungsunsicherheiten in Bodenkarten dynamisch darzustellen. Die von ihm entwickelte Unsicherheitsvisualisierungstechnik ist unter dem Namen *Error Animation* (deutsch: Fehleranimation) bekannt. *Error Animation* integriert Unsicherheiten in die Visualisierung der primären Daten, indem – basierend auf dem Zufallsprinzip – an einer Stelle entweder die primäre Information oder die Unsicherheit zu sehen ist. Weil ein Algorithmus die Stellen, an denen die Unsicherheiten visualisiert sind, immer wieder zufällig wechselt, entsteht ein fortwährend wechselndes Bild. Das zufällige Wechseln verhindert, dass der Nutzer Muster in den Unsicherheiten sieht, die es in der Realität nicht gibt. Die Methode eignet sich besonders gut, wenn nur ein einziger allgemeiner (globaler) Unsicherheitswert für die gesamte Karte bekannt ist. Gibt es Informationen über die Lage der Unsicherheiten kann der Algorithmus jedoch dementsprechend angepasst werden. Durch Variation der Frequenz, mit der die Unsicherheit an einer Stelle jeweils sichtbar gemacht wird, lassen sich zudem nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Informationen zur Unsicherheit kommunizieren. *Error Animation* ist also flexibel an den Kontext anpassbar und bietet viele Möglichkeiten, Unsicherheiten zu kommunizieren. Da Fisher (1993) seine Methode nicht testete, konnte er keine Aussagen bezüglich deren Effektivität machen.

Die Methode von Fisher (1993) wurde jedoch u.a. von Drecki (2002) wieder aufgegriffen und in einer empirischen Studie mit vier weiteren Methoden verglichen. Drecki (2002) nannte die Methode allerdings nicht *Error Animation* sondern *Blinking* (deutsch: Blinken). Angewendet wurden die Methoden auf Bodennutzungskarten, die von Satellitenbildern abgeleitet wurden. Bei den vier weiteren Methoden handelte es sich um drei intrinsische und eine extrinsische. Die Auswertung der Studie zeigte,

dass die *Blinking*-Methode in Bezug auf die Effektivität mittelmässig abschnitt, da die Teilnehmer insgesamt mit der extrinsischen und einer intrinsischen Methode bessere Resultate erzielten. Auffällig ist nach Drecki (2002), dass die Effektivität der *Blinking*-Technik sehr inkonstant ist. Während die Teilnehmer einige Fragen mit dieser Technik besser beantworten konnten als mit allen anderen Unsicherheitsvisualisierungen, gab es auch Fragen, die mit dieser Technik am schlechtesten beantwortet wurden. Bezüglich der Frage, welche Technik die Teilnehmer am nützlichsten finden, ist die *Blinking*-Methode ebenfalls nur im Mittelfeld einzuordnen. Drecki (2002) äusserte zudem, dass die Methode für den Kartennutzer mit der Zeit irritierend sein kann, was sich nachteilig auf seine Leistung auswirken könnte.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass dynamische Unsicherheitsvisualisierungen das Potenzial haben, Unsicherheiten effektiv zu kommunizieren, vor allem wenn statische Methoden nicht realisierbar sind, da die Karten beispielsweise visuell überladen wären. Indizien dafür, dass dynamische Unsicherheitsvisualisierungstechniken besser oder zumindest genauso gut sind wie statische Methoden, gibt es jedoch noch ungenügend. Die Vielzahl an verschiedenen Möglichkeiten erschwert es ausserdem zusätzlich, eine generelle Aussage über die Effektivität von dynamischen Unsicherheitsvisualisierungen zu machen (Kinkeldey *et al.* 2014a).

2.6.4. Visualisierung multipler Unsicherheiten

Die grosse Mehrheit der Forscher befasst sich mit Methoden, mit denen pro Karte eine Art von Unsicherheit dargestellt werden kann (in der Regel räumliche Unsicherheiten oder Attributunsicherheiten) (Kinkeldey *et al.* 2014a). Auch alle bisher vorgestellten Methoden wurden hauptsächlich entwickelt und getestet für die Visualisierung einer einzigen Unsicherheitsart. Da Unsicherheiten jedoch entlang der gesamten Datenprozessierungskette entstehen (siehe Kapitel 2.2.), gibt es häufig mehr als nur eine Art von Unsicherheit in Karten. Wird ein Modell entwickelt, das mehrere Datensätze als Grundlage hat, ist es noch offensichtlicher, dass es mehrere Arten von Unsicherheit im Modell gibt. Davis und Keller (1997) stellten beispielsweise fest, dass es in einem Hangstabilitätsmodell mindestens fünf verschiedene Unsicherheitsarten gibt. Dennoch existiert noch kaum Forschung darüber, wie mehrere Arten von Unsicherheiten gleichzeitig in einer Karte kommuniziert werden können.

Eine Ausnahme stellen Kardos *et al.* (2007, 2008) dar, die eine Technik entwickelten, um gleichzeitig Attributunsicherheiten sowie die räumlichen Unsicherheiten von Grenzen in Choroplethenkarten darzustellen. Die Technik wird *Hexagonal or Rhombus (kurz: HoR) quadtree tessellation* genannt. Die Grundlage der Technik ist die *Quadtree*-Datenstruktur. Bei einem *Quadtree* wird ein Bild in vier gleich grosse Quadranten unterteilt. Anschliessend werden die Quadranten schrittweise immer wieder ebenfalls in vier gleich grosse Quadranten unterteilt, bis pro Quadrant ein gewisser Grenzwert erreicht ist. Visuell sieht ein *Quadtree* wie ein Mosaik (englisch: *tessellation*) mit unterschiedlich grossen Kacheln aus (Kardos *et al.* 2007). Bei der *HoR quadtree tessellation*-Methode repräsentiert die Grösse der Hexagone und Rhomben die Attributunsicherheit, wobei die Unsicherheit grösser ist, je grösser die Hexagone und Rhomben sind. Die räumliche Unsicherheit der Grenzen wird durch die Lage der Hexagone

und Rhomben dargestellt. Statt der politischen Grenzen werden für die Grenzen in den Choroplethenkarten die Umrisslinien der Hexagone und Rhomben verwendet. Liegen die Umrisslinien der Hexagone oder Rhomben genau auf den politischen Grenzen, ist die Lageunsicherheit der Grenzen gering. Je größer die Abweichung ist, desto unsicherer sind die Grenzen. In Abb. 20 ist die Methode auf eine Choroplethenkarte angewendet, die die Bevölkerungszahl von Dunedin City (Neuseeland) zeigt (Kardos *et al.* 2007, 2008).

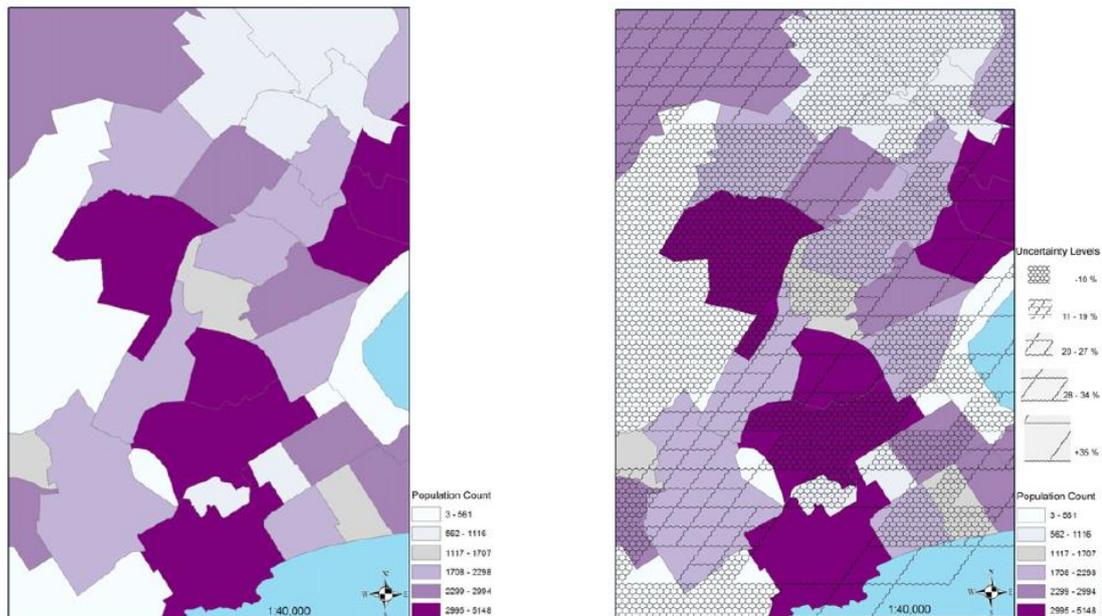


Abb. 20: Darstellung mehrerer Unsicherheitsarten gleichzeitig mithilfe der *Hexagonal or Rhombus quadtree tessellation*-Methode. Links: Choroplethenkarte der Bevölkerungszahl von Dunedin City (Neuseeland) ohne Unsicherheitsvisualisierungen, rechts: Choroplethenkarte, in der die räumlichen Unsicherheiten der Grenzen sowie die Attributunsicherheiten mit der genannten Technik visualisiert sind (Kardos *et al.* 2007).

Bei der Evaluation der Methode zeigte sich, dass sie an und für sich effektiv ist, um zwei Arten von Unsicherheiten zu kommunizieren. Es zeigte sich jedoch auch, dass die Methode am effektivsten war, wenn die Kartennutzer zwei Karten gleichzeitig sahen, wobei eine Karte nur die Choroplethenkarte ohne Unsicherheiten zeigte und eine zweite die Choroplethenkarte mit Unsicherheiten (wie in Abb. 20). Die Choroplethenkarte mit Unsicherheiten ohne die primäre Karte daneben war etwas weniger effektiv. Da jedoch nur Teilnehmer mit GIS-Erfahrung in die Studie involviert waren, kann noch keine Aussage darüber gemacht werden, ob auch unerfahrene Kartennutzer mehrere Arten von visualisierten Unsicherheiten verstehen können (Kardos *et al.* 2007). Im Bereich von Visualisierungen multipler Unsicherheiten besteht also noch Bedarf nach mehr Forschung, insbesondere darüber, wie zeitliche Unsicherheiten zusätzlich zu anderen Arten von Unsicherheit visualisiert werden können.

2.7. Entscheidungen unter Unsicherheit

Wie in den vorherigen Unterkapiteln aufgezeigt, wurden seit Beginn der Forschung über Unsicherheitsvisualisierungen in Karten eine Vielzahl an verschiedenen Visualisierungstechniken entwickelt. Mithilfe von empirischen Studien wurde getestet, ob die Visualisierungen intuitiv verständlich sind und

durch sie Unsicherheiten effektiv kommuniziert werden können. «Das ultimative Ziel von Unsicherheitsvisualisierungen ist [jedoch], den Kartennutzern Visualisierung zur Verfügung zu stellen, die [...] Informationen über Unsicherheiten enthalten, um sie in ihrer Datenanalyse und Entscheidung zu unterstützen» (Pang *et al.* 1997: 371). Bevor im nächsten Kapitel konkret darauf eingegangen wird, ob und inwiefern Unsicherheitsvisualisierungen einen Kartennutzer in seiner Entscheidung unterstützen, stellt sich zuerst die Frage, wie Entscheidungsträger im Allgemeinen mit Unsicherheiten in Informationen umgehen. Dieser Frage wird in diesem Kapitel mithilfe von Papers aus der Psychologie (v.a. der Entscheidungsforschung) nachgegangen.

Entscheiden (englisch: *decision-making*) bedeutet, dass ein Urteil gefällt wird in Bezug auf eine Sache oder Angelegenheit, die zur Abwägung oder Überlegung steht (Berube *et al.* 1995 zit. in Cornélis und Brunet 2002). Entscheiden kann auch als zielgerichtete Aktivität angesehen werden, die durchgeführt wird, um Probleme zu lösen oder um zu einer Lösung zu kommen (Mayer 1992 zit. in Keuper 2004). Entscheidungen basieren auf drei Pfeilern: (1) der Angelegenheit, (2) dem Kontext und (3) den Daten (Cornélis 1999 zit. in Cornélis und Brunet 2002). Die Angelegenheit bezeichnet das Problem, mit dem sich der Entscheidungsträger befasst. Der Kontext bezieht sich auf die Haltung, die Erfahrung sowie das Können des Entscheidungsträgers. Die Daten sind schliesslich die Informationen, die ein Entscheidungsträger braucht, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Eine Entscheidung kann nach Cornélis (1999 zit. in Cornélis und Brunet 2002) generell in fünf Phasen unterteilt werden: (1) Dokumentations- / Informationsphase, (2) Analysephase, (3) Entscheidungsphase, (4) Entscheidungsimpementierung und (5) Entscheidungsevaluation. In der Dokumentations- / Informationsphase werden die drei Pfeiler von Entscheidungen zusammengetragen. In der Analysephase werden die Informationen aus dem vorhergehenden Schritt prozessiert und analysiert. Die Entscheidungsphase bezeichnet schliesslich den Moment, in dem die eigentliche Entscheidung getroffen wird. Anschliessend wird in der Phase der Entscheidungsimpementierung die Entscheidung umgesetzt. Abschliessend müsste eine Evaluation der Entscheidung erfolgen. Diese Phase gestaltet sich jedoch häufig schwierig (Cornélis und Brunet 2002). Nicht alle Entscheidungsmodelle sind aufgebaut wie das hier vorgestellte Modell. Einige Modelle unterscheiden zwischen noch mehr Phasen, andere kommen mit weniger aus, sie haben jedoch gemeinsam, dass sie alle eine Entscheidung als eine Abfolge von verschiedenen Schritten oder Sequenzen betrachten. Zudem ist gemeinhin anerkannt, dass es eine gewisse Zeit braucht, um alle Schritte des Entscheidens zu durchlaufen. Zusätzlich zur Unterteilung in verschiedene Schritte können Entscheidungen grundsätzlich in zwei Elemente unterteilt werden, die auch für diese Arbeit relevant sind: (1) der Entscheidungsfindungsprozess und der Akt des Entscheidens sowie (2) die Entscheidung als Resultat des Entscheidungsfindungsprozesses und des Akts des Entscheidens (Keuper 2004).

Da in dieser Arbeit auf beide Elemente eingegangen wird und nicht nur auf das Ergebnis einer Entscheidung, wird nachfolgend erläutert, inwiefern sich ein «normaler» Entscheidungsprozess ohne Unsicherheiten und ein Entscheidungsprozess, in den Unsicherheiten involviert sind, unterscheiden. Um zu beschreiben, wie Menschen «normale» Entscheidungen treffen, wurde in der Entscheidungsforschung

eine Vielzahl an Entscheidungstheorien und Entscheidungsmodellen entworfen, wovon zwei an dieser Stelle kurz vorgestellt werden. Grundsätzlich ist das Ziel eines Entscheidungsträgers stets, durch seine Entscheidung seine Vorteile oder Erträge zu maximieren (oder die negativen Konsequenzen zu minimieren), indem er diejenige Option wählt, die diesbezüglich den anderen Optionen überlegen ist (von Neumann und Morgenstern 1953). Zu Beginn der Entscheidungsforschung wurde angenommen, dass Entscheidungen nach dem rationalen Modell (englisch: *rational model*) getroffen werden (Orquin und Mueller Loose 2013). Dieses Modell besagt, dass der Entscheidungsträger seine Entscheidung basierend auf vollständigen und perfekten Informationen bezüglich aller Optionen trifft. Zudem besitzt er alle nötigen Fähigkeiten, um die beste zu eruieren. Die Entscheidungen werden daher vollkommen rational getroffen (Simon 1956).

An diesem Modell wurde jedoch viel Kritik ausgeübt. Hauptsächlich wurde kritisiert, dass es praktisch keine Situationen gibt, in denen Entscheidungsträger vollständige Informationen bezüglich aller Optionen haben, weshalb das rationale Modell unrealistisch ist (Wilkening 2012). Deutlich realitätsnäher ist das begrenzt rationale Modell (englisch: *bounded rationality model*) von Simon (1957 zit. in Orquin und Mueller Loose 2013), bei dem es sich um eine Weiterentwicklung des rationalen Modells handelt. Bei dem begrenzt rationalen Modell wird davon ausgegangen, dass Entscheidungsträger keine vollständigen und perfekten Informationen erlangen können. Ihr Wissen bezüglich aller Optionen, ihre kognitiven Fähigkeiten sowie die zur Verfügung stehende Zeit sind begrenzt. Aus diesem Grund müssen die Entscheidungsträger das Entscheidungsproblem zerlegen und gewisse Informationen priorisieren oder spezifische Strategien anwenden, um zu einer Entscheidung zu gelangen (Wilkening 2012, Orquin und Mueller Loose 2013).

Aufgrund der beschriebenen Beschränkungen können Entscheidungen bereits ohne Unsicherheiten schwierig sein, doch wenn Unsicherheiten in Entscheidungen involviert sind, können diese um ein Vielfaches komplizierter werden. Bei Entscheidungen mit Unsicherheiten kann jede Option zu verschiedenen Ergebnissen führen, wobei die Ergebnisse mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten eintreffen können (Joslyn und LeClerc 2013). Da das Beurteilen und Einschätzen von Wahrscheinlichkeiten äußerst komplex ist, müssen Entscheidungsträger auf einfachere Verfahren zurückgreifen, um verschiedene Optionen zu beurteilen und gegeneinander abzuwägen. Solche Verfahren werden Heuristiken genannt (Tversky und Kahneman 1974). Vereinfacht können Heuristiken auch als Faustregeln betrachtet werden (Wilkening 2012). Während Heuristiken häufig nützlich sind bei der Vereinfachung eines sehr komplexen Problems, können sie jedoch auch zu schwerwiegenden, systematischen Fehlern führen (Tversky und Kahneman 1974). In Tabelle 3 sind einige gängige Heuristiken zusammengetragen. Die ersten drei wurden von Tversky und Kahneman (1974) entwickelt und die restlichen wurden von Payne *et al.* (1993) aufgestellt oder aus bestehenden weiterentwickelt. In den Werken der genannten Autoren kann zusätzlich zu den hier aufgeführten Erläuterungen nachgelesen werden, zu was für Verzerrungen die einzelnen Heuristiken führen können.

Tabelle 3: Verschiedene Heuristiken nach Tversky und Kahneman (1974) und Payne *et al.* (1993).

Heuristik	Beschreibung
Repräsentativsheuristik (englisch: <i>representativeness</i>)	Basierend auf der Ähnlichkeit oder Repräsentativität zweier Objekte, können mit dieser Heuristik die Zusammenhänge der zwei Objekte geschätzt werden. Es wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Objekte voneinander abstammen, umso grösser ist, je ähnlicher sich zwei Objekte sind.
Verfügbarkeitsheuristik (englisch: <i>availability</i>)	Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses wird bei dieser Heuristik basierend auf eigenen Erfahrungen oder Erinnerungen beurteilt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Phänomens, das im persönlichen Umfeld bereits häufig eingetreten ist, wird beispielsweise grösser geschätzt als die Wahrscheinlichkeit eines Phänomens, das im persönlichen Umfeld noch nie eingetreten ist.
Ankerheuristik (englisch: <i>anchoring</i>)	Bei dieser Heuristik wird ein Wert geschätzt, indem von einem Anfangswert (Ankerwert) ausgegangen wird, der im Verlauf der Entscheidung justiert und angepasst wird, um zu einer endgültigen Schätzung zu kommen.
Gewichtete additive Heuristik (englisch: <i>weighted additive</i>)	Den Attributen der Optionen wird eine Gewichtung zugeschrieben, wobei die Gewichtung zwischen den Attributen unterschiedlich sein kann. Pro Option wird jeder Attributwert mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert. Anschliessend werden die Werte aufsummiert, um pro Option eine Gesamtwertung zu erhalten. Ausgewählt wird die Option mit der höchsten Gesamtwertung.
Gleichgewichtungsheuristik (englisch: <i>equal weight</i>)	Wie bei der gewichteten additiven Heuristik wird pro Option eine Gesamtwertung errechnet. Anstatt die einzelnen Optionen zu gewichten, werden jedoch nur die Werte aller Attribute einer Option aufsummiert. Gewählt wird die Option mit der höchsten Gesamtwertung.
Attributweise Eliminationsregel (englisch: <i>elimination by aspects</i>)	Von allen Attributen wird eines als das wichtigste definiert. Anschliessend wird für dieses Attribut ein Schwellenwert definiert. Alle Optionen, bei denen der Wert des wichtigsten Attributs unter dem Schwellenwert liegt, werden eliminiert. Bei den übrigbleibenden Optionen wird der Prozess mit dem zweitwichtigsten Attribut und dessen Schwellenwert wiederholt. Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis nur eine Option übrig bleibt.

Anspruchserfüllungs- heuristik (englisch: <i>satisficing</i>)	Die Optionen werden in der Reihenfolge, in der sie auftreten oder präsentiert werden, beurteilt. Die erste Option, bei der alle Attribute ein subjektiv definiertes Akzeptanzlevel erreichen, wird gewählt. Wenn von keiner Option alle Attribute das Level erreichen, beginnt der Prozess von vorne mit einem gelockerten Akzeptanzlevel.
Lexikographische Heuristik (englisch: <i>lexicographic</i>)	Von allen Attributen wird eines als das wichtigste definiert. Die Optionen werden basierend auf den Werten des wichtigsten Attributs verglichen. Die Option, bei der der Wert des wichtigsten Attributs am besten ist, wird ausgewählt. Gibt es zwei oder mehrere gleiche Werte, wird basierend auf den Werten des zweitwichtigsten Attributs entschieden.
Mehrheitsheuristik (englisch: <i>majority of confirming dimensions</i>)	Es werden jeweils zwei Optionen miteinander verglichen. Beim Vergleich werden die Werte pro Attribut verglichen. Diejenige Option, bei der die Mehrheit der Attribute den Vergleich gewinnt (besser ist), wird beibehalten und auf dieselbe Weise mit der nächsten Option verglichen. Nachdem alle Optionen einmal an der Reihe waren, wird die am Schluss übrigbleibende Option gewählt.
Häufigkeit von guten oder schlechten Merkmalen (englisch: <i>frequency of good and bad features</i>)	Alle Attribute werden aufgrund ihrer Werte als gut oder schlecht bezeichnet. Die Bezeichnung basiert auf einem subjektiv gewählten Schwellenwert. Je nachdem ob der Entscheidungsträger auf gute oder schlechte Merkmale fokussiert, wird die Option mit den meisten guten oder schlechten Attributen gewählt.

Zusammengefasst wurde in diesem Kapitel aufgezeigt, dass «normale» Entscheidungen aus einzelnen Sequenzen bestehen. Da Entscheidungen mit Unsicherheiten um ein vielfaches komplexer sind als «normale» Entscheidungen, verwenden Entscheidungsträger Heuristiken als informelle Entscheidungsregeln, die den Entscheidungsprozess vereinfachen, jedoch auch die Entscheidungen verzerren können.

2.8. Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidung und den Entscheidungsprozess

Grundsätzlich besteht über alle Forschungsrichtungen hinweg Einigkeit darüber, dass Unsicherheiten Entscheidungen in irgendeiner Art und Weise beeinflussen (MacEachren *et al.* 2005). Im vorherigen Kapitel wurde aufgezeigt, dass Entscheidungen mit Unsicherheiten teilweise so komplex sind, dass auf informelle Entscheidungsregeln zurückgegriffen wird, um den Entscheidungsprozess zu erleichtern. Da das Ziel von Unsicherheitsvisualisierungen letztendlich ist, dass Entscheidungsträger «gut fundierte Entscheidungen basierend auf unvollkommenen Informationen» treffen können (Pang *et al.* 1997: 388), ist es wichtig zu verstehen, was für einen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen haben. Lange Zeit wurde jedoch einfach angenommen, dass Unsicherheitsvisualisierungen

für einen Entscheidungsträger nützlich sind, ohne dies zu überprüfen oder zu spezifizieren (MacEachren *et al.* 2005). Je mehr Unsicherheitsvisualisierungstechniken entwickelt wurden, desto mehr Stimmen wurden laut, die forderten, dass zusätzlich zu den in Kapitel 2.6. vorgestellten Studien, von Kinkeldey *et al.* (2015a) Kommunikations-Studien genannt, auch Studien durchgeführt werden, die testen, was für Effekte Unsicherheitsvisualisierungen auf den Entscheidungsprozess und die Entscheidung haben. Vermehrt wird diese Art von Studien, von Kinkeldey *et al.* (2015a) Effekt-Studien genannt, erst seit etwas mehr als zehn Jahren durchgeführt (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Effekt-Studien beinhalten im Vergleich zu Kommunikations-Studien wesentlich komplexere Aufgaben, bei denen nicht «nur» Werte aus einer Karte herausgelesen oder verglichen werden müssen, sondern die eine gründliche Analyse der primären Daten sowie der Unsicherheiten voraussetzen. Konkret müssen bei den eingesetzten Entscheidungsaufgaben die Teilnehmer häufig aus einer Auswahl von Optionen entscheiden, welche Option die optimalste ist (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Die Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidung können auf zwei Arten analysiert werden. Bei der objektiven Beurteilung der Effekte wird analysiert, ob durch die Unsicherheitsvisualisierungen korrektere Entscheidungen getroffen werden, ob die Entscheidungsträger schneller zu einer Entscheidung kommen oder ob sich die Entscheidung auf sonstige Weise unterscheiden (Kinkeldey *et al.* 2015a). Die objektive Beurteilung, besonders in Bezug auf die Korrektheit von Entscheidungen, kann je nach Studiendesign aufgrund des «richtige Entscheidung, falsches Ergebnis»-Problems eine Herausforderung darstellen. Das Problem besagt, dass unter Unsicherheit eine richtige Entscheidung (basierend auf den Informationen die meist rationale) wegen der Unsicherheiten zu einem falschen Ergebnis führen kann (Cheong *et al.* 2016). Bei der subjektiven Beurteilung der Effekte wird analysiert, ob durch die Unsicherheitsvisualisierungen die Einstellung der Entscheidungsträger (z.B. deren Risikoeinstellung) oder deren Entscheidungssicherheit verändert sind. Subjektive Beurteilungen basieren normalerweise auf Selbsteinschätzungen der Teilnehmer (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Um einen Überblick darüber zu geben, was heute über die Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen und die dazugehörigen Entscheidungsprozesse bekannt bzw. nicht bekannt ist, werden in den nächsten vier Unterkapiteln Effekt-Studien vorgestellt und deren Erkenntnisse erläutert.

2.8.1. Einfluss auf die Entscheidung

Einfluss auf die Korrektheit der Entscheidung

Die Mehrheit aller Effekt-Studien beurteilt die Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen basierend auf der Korrektheit der Entscheidungen. Eine der ersten dieser Studien wurde von Andre und Cutler (1998) ausgeführt. In ihrer Studie wurden räumliche Unsicherheiten in einem Flugnavigationssystem visualisiert. Mithilfe des Flugnavigationssystems mussten die Teilnehmer in Flugsimulationen verschiedene Aufgaben lösen. Eine der Aufgaben war, Abweichungen von einem gegebenen Kurs zu minimieren, während eine Kollision mit einem anderen Flugobjekt auf demselben Kurs verhindert werden musste. Die Teilnehmer mussten also entscheiden, wann und wie stark sie vom Kurs abweichen sollen. Die Auswertung zeigte, dass korrektere Entscheidungen getroffen wurden (weniger

Kollisionen), wenn die Unsicherheiten visualisiert waren. Nach Andre und Cutler (1998) haben Unsicherheitsvisualisierungen also einen positiven Effekt auf die Korrektheit der Entscheidungen.

Zu einer ähnlichen Erkenntnis kamen Leitner und Buttenfield (2000). In ihrer Studie mussten die Teilnehmer mithilfe verschiedener Planungskriterien entscheiden, welcher von drei Optionen der beste Standort für einen neuen Park ist, was eine einfache Entscheidung darstellte. Davon abhängig mussten sie in einem zweiten Schritt entscheiden, welcher unter drei Optionen wiederum der schlechteste Standort für einen Flughafen ist, was eine schwierige Entscheidung darstellte. Pro Entscheidung gab es einen korrekten, einen zweifelhaften und einen inkorrekten Standort. Die Karten zeigten nebst Elementen wie Strassen, Flüsse und Städte hauptsächlich die Verbreitung von Feuchtgebieten. Da die Lage von Feuchtgebieten nicht exakt definiert werden kann, sind diese mit Unsicherheiten behaftet. Je nach Entscheidungsaufgabe wurden in den Karten die Lageunsicherheiten der Feuchtgebiete gar nicht oder mit einer von drei verschiedene Unsicherheitsvisualisierungstechniken visualisiert. Die Auswertung der Entscheidungen zeigte, dass im Vergleich zu Entscheidungen, die ohne Unsicherheitsvisualisierungen gefällt wurden, grundsätzlich signifikant mehr korrekte Parkstandorte ausgewählt wurden, wenn die Unsicherheiten visualisiert waren. Auch in diesem Fall hat die Visualisierung der Unsicherheit also einen positiven Effekt auf die Korrektheit der Entscheidungen. Es stellte sich zudem heraus, dass auch die Unsicherheitsvisualisierungstechnik einen Einfluss auf die Korrektheit hat, da mit einigen Techniken signifikant korrektere Entscheidungen getroffen wurden als mit anderen. Bei der Wahl des unpassendsten Standortes für einen Flughafen konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Mit Unsicherheitsvisualisierungen wurden bei dieser Entscheidungsaufgabe also weder bessere noch schlechtere Entscheide getroffen, unabhängig davon, mit welcher Technik die Unsicherheiten visualisiert wurden.

Zu einer anderen Schlussfolgerung als Andre und Cutler (1998) sowie Leitner und Buttenfield (2000) gelangten Hope und Hunter (2007b). Das Szenario ihrer Studie war an dasjenige von Leitner und Buttenfield (2000) angelehnt, weshalb es ebenfalls um die Standortsuche für einen Flughafen ging. Die Teilnehmer mussten sich entweder entscheiden, welcher von zwei Standorten der bessere für einen neuen Flughafen ist, oder sie mussten sechs verschiedene Region entsprechend ihrer Eignung sortieren. Bei den Karten, die die Teilnehmer als Entscheidungsgrundlage bekamen, handelte es sich um Bodeneignungskarten. Die Unsicherheiten der Bodeneignung wurden durch einfache Glyphs visualisiert. Im Kapitel über extrinsische Unsicherheitsvisualisierungstechniken wurde die Technik von Hope und Hunter (2000b) bereits vorgestellt, weshalb dort auch eine Beispielkarte zu sehen ist (Abb. 13). Die Auswertung zeigte, dass die Teilnehmer höchst signifikant häufiger Regionen mit geringer Unsicherheit gewählt haben, häufig, obwohl aufgrund der Bodeneignungsklasse oder anderer rationaler Überlegungen diese Regionen nicht hätten gewählt werden sollen. Die Autoren begründen dieses Verhalten mit dem Konzept der Verlustaversion von Kahneman und Tversky (1979). Das Konzept besagt, dass z.B. bei einer Wette mit gleicher Verlust- und Gewinnchance die Teilnehmer unter einem allfälligen Verlust stärker leiden, als dass sie sich über den möglichen Gewinn freuen, weshalb sie die Wette ablehnen

(Kahneman und Tversky 1979, Hope und Hunter 2007b). Auf die Standortentscheidung bezogen bedeutet das, dass die Teilnehmer die möglichen Verluste durch grosse Unsicherheit höher einschätzten als die möglichen Gewinne, und daher Standorte mit grosser Unsicherheit nicht wählten (Hope und Hunter 2007b). Die Teilnehmer wählten jedoch auch dann, wenn beide zur Auswahl stehenden Regionen der schlechtesten Bodeneignungskategorie zugeordnet waren, die Region mit geringerer Unsicherheit, obwohl in diesem Fall die Region mit grösserer Unsicherheit die korrektere Wahl wäre. Dieses Phänomen kann nicht mit dem Konzept der Verlustaversion begründet werden. Die Autoren kommen daher zum Schluss, dass «der Einbezug von Unsicherheitsvisualisierungen zu irrationalen Entscheidungen führen kann» (Hope und Hunter 2000b: 209).

Zusammengefasst zeigen die vorgestellten Studien, dass Unsicherheitsvisualisierungen einen positiven Einfluss auf die Korrektheit von Entscheidungen haben können, die Korrektheit allerdings ebenso unverändert bleiben kann im Vergleich zu Entscheidungen, die ohne Unsicherheitsvisualisierungen gefasst werden müssen. Visualisierte Unsicherheiten haben jedoch auch das Potenzial, zu falschen und irrationalen Entscheidungen zu führen, wenn die Kartennutzer die Unsicherheiten nicht im Zusammenhang mit den primären Daten sehen und interpretieren können (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Einfluss auf das Ergebnis der Entscheidung

Ein kleiner Anteil der Effekt-Studien hat nicht wie die vorher beschriebenen Studien die Korrektheit der Entscheidungen analysiert, sondern beurteilt, ob es zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen relative Veränderungen gibt (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Keine korrekten oder falschen Entscheidungen gab es beispielsweise in der Studie von Deitrick und Edsall (2006). Die Studie ist thematisch im Bereich der Wasserwirtschaft anzuordnen. Mithilfe von Karten über den zukünftigen Wasserverbrauch pro Kopf mussten die Teilnehmer durch das Erstellen einer Rangordnung entscheiden, welche Regionen am anfälligsten auf eine neue Wasserwirtschaftspolitik reagieren würden. Die Unsicherheiten wurden mithilfe von zwei verschiedenen Techniken visualisiert. Deitrick und Edsall (2006) stellten fest, dass die Teilnehmer signifikant andere Rangordnungen erstellten, wenn Unsicherheiten visualisiert waren. Die Unterschiede konnten unabhängig von der Visualisierungstechnik ausgemacht werden. Nach Deitrick und Edsall (2006) haben Unsicherheiten also grundsätzlich einen Einfluss auf Entscheidungen. Da sie die Unterschiede jedoch nicht analysiert haben, können keine detailliertere Aussagen über die Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen gemacht werden.

Um Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf komplexe Entscheidungen zu analysieren, entwickelten Riveiro *et al.* (2014) ein komplexes Flugabwehrsystem. Das System zeigt alle im Luftraum befindliche Flugobjekte, sowie in separaten Grafiken deren Flughöhen, Fluggeschwindigkeiten und Peilungen zusammen mit den dazugehörigen Unsicherheiten (siehe Abb. 21). In der durchgeführten Studie mussten die Studienteilnehmer, alles Experten im Bereich der Flugabwehr, mithilfe des Flugabwehrsystems Flugobjekte identifizieren, die als gefährlich oder abnormal einzustufen sind, und die Wichtigkeit

für deren Weiterverfolgung priorisieren. Während die Unsicherheitsvisualisierungen keinen signifikanten Einfluss auf die Korrektheit der Entscheidungen hatten, konnten Riveiro *et al.* (2014) feststellen, dass die Unsicherheiten dazu führten, dass die Teilnehmer deutlich weniger Versuche brauchten, um sich endgültig zu entscheiden, dass sie signifikant mehr Objekte als gefährlich identifizierten und dass sie diesen signifikant höhere Prioritäten zur Weiterverfolgung zuwiesen. Die Unsicherheitsvisualisierungen hatten also einen deutlichen Effekt auf die Entscheidungen.

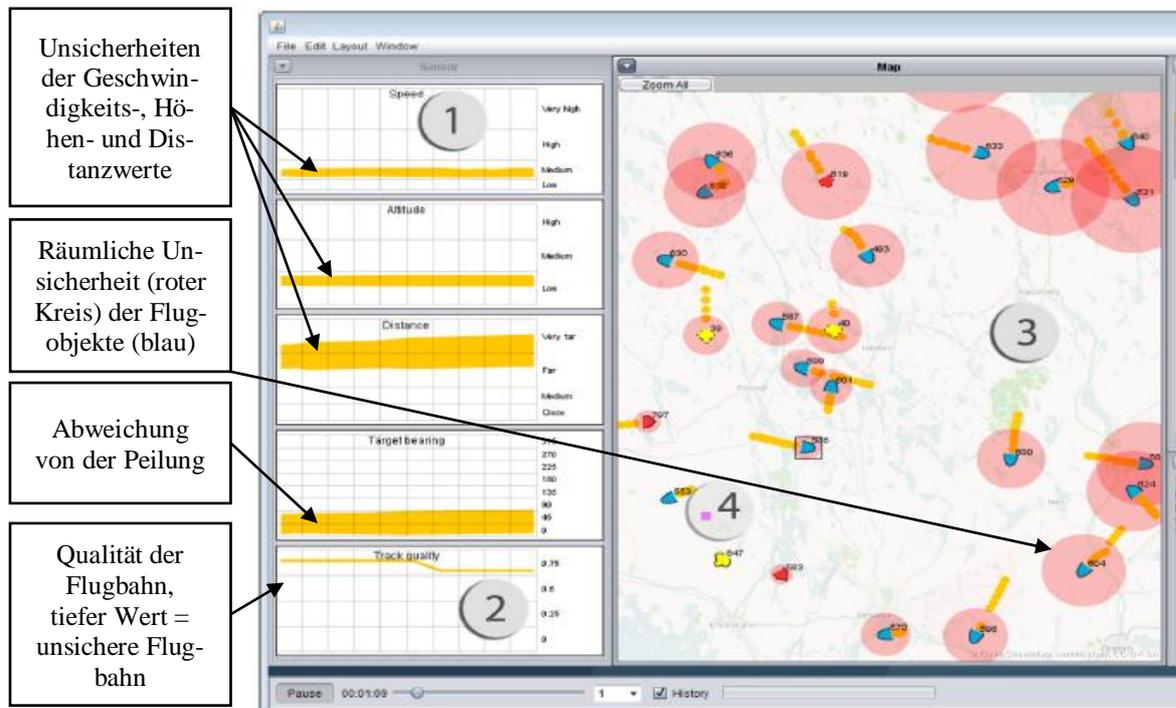


Abb. 21: Benutzeroberfläche des Flugabwehrsystems von Riveiro *et al.* (2014). Mithilfe aller Daten und den dazugehörigen Unsicherheiten mussten die Studienteilnehmer gefährliche oder abnormale Flugobjekte identifizieren (Riveiro *et al.* 2014).

Pyysalo und Oksanen (2014) untersuchten den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen im Kontext von hydrologischen Karten. Ihre Karten zeigten verschiedene Wassereinzugsgebiete. Mithilfe von sieben verschiedenen Techniken wurden die Unsicherheiten der Einzugsgebiete visualisiert. In der empirischen Studie bekamen die Teilnehmer einen Punkt auf der Karte zu sehen. Anschliessend mussten sie entscheiden, zu welchem Einzugsgebiet dieser Punkt mit welcher Wahrscheinlichkeit gehört. Zuerst taten sie dies jeweils ohne und anschliessend mit Unsicherheitsvisualisierungen. Das Ergebnis war, dass fast 60% aller Teilnehmer sich bei der zweiten Entscheidung umentschieden und eine andere Antwort abgaben. Die Unsicherheitsvisualisierungen führten also dazu, dass sich die Entscheidungen veränderten, darüber jedoch inwiefern sie dies taten, äusserten sich Pyysalo und Oksanen (2014) nicht.

Zusammengefasst herrscht grundsätzlich Einigkeit darüber, dass Unsicherheitsvisualisierungen Entscheidungen in irgendeiner Art und Weise beeinflussen, und dass mit Unsicherheitsvisualisierungen andere Entscheidungen getroffen werden als ohne. Häufig wird aber nicht näher auf die Unterschiede

eingegangen, weshalb mit dem heutigen Wissen keine generellen Aussagen darüber gemacht werden kann, wie und vor allem weshalb sich die Entscheidungen verändern (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Einfluss auf die Entscheidungssicherheit

Viele Effekt-Studien beurteilen zusätzlich zur Korrektheit oder relativen Veränderung die Entscheidungssicherheit, denn eine häufige Annahme ist, dass Entscheidungsträger sich ihrer Entscheidung sicherer sind, wenn Unsicherheiten visualisiert sind (Kinkeldey *et al.* 2015a). Die Entscheidungssicherheit wird häufig gemessen, indem die Teilnehmer nach jeder Entscheidung auf einer n-teiligen Skala von «sehr unsicher» bis «sehr sicher» selber einschätzen, wie sicher sie sich ihrer Entscheidung sind (Deitrick und Edsall 2006).

Leitner und Buttenfield (2000) stellten in ihrer Studie fest, dass die Entscheidungssicherheit der Teilnehmer konstant relativ hoch war, unabhängig davon, ob es sich um die einfachere oder schwierigere Entscheidung handelte oder ob Unsicherheiten visualisiert waren oder nicht. Obwohl die Teilnehmer mit Unsicherheitsvisualisierungen korrektere Entscheidungen fällten, hatten die Visualisierungen keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit. Auch in den Studien von Deitrick und Edsall (2006) sowie Riveiro *et al.* (2014) blieb die Entscheidungssicherheit der Teilnehmer bei Entscheidungen mit visualisierten Unsicherheiten unverändert im Vergleich zu Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen.

Zusammengefasst gibt es kaum Beweise dafür, dass Unsicherheitsvisualisierungen einen positiven Effekt auf die Entscheidungssicherheit haben. In den bisher durchgeführten Studien konnte entweder kein Einfluss festgestellt werden oder wenn überhaupt ein äusserst geringer (Kinkeldey *et al.* 2015a).

2.8.2. Einfluss der Unsicherheitsvisualisierungstechnik auf die Entscheidung

Während die bisher vorgestellten Effekt-Studien hauptsächlich Entscheidungen mit und ohne Unsicherheitsdarstellungen verglichen, gibt es auch Studien, die sich vornehmlich darauf konzentrierten, Einflüsse verschiedener Unsicherheitsvisualisierungstechniken auf die Entscheidungen zu vergleichen.

Hope und Hunter (2007a) verglichen beispielsweise im Kontext der Bootsnavigation in einem dynamischen Testsetting, welchen Einfluss verschiedene Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidung haben. Im Detail erstellten sie Gewässerkarten, auf denen je eine Zone A, eine Zone B, eine maritime Grenze sowie die Position eines Bootes dargestellt waren. Die Unsicherheitsvisualisierungen zeigten sowohl die räumlichen Unsicherheiten der Grenzen als auch der Standorte der Boote. Die Unsicherheiten der Grenzen wurden mit vier Techniken kommuniziert: (1) Limit, (2) Skala, (3) Wahrscheinlichkeit und (4) Abstufung. Alle Techniken sind in Abb. 22 dargestellt.

Bei der Limit-Technik wurde über und unter der Grenze je eine Linie eingezeichnet. Die Grenze könnte sich tatsächlich überall zwischen diesen zwei Linien befinden. Bei der Skala-Technik wurden die Teilnehmer in der Legende schriftlich darauf hingewiesen, dass die Position der Grenze und des Bootes innerhalb eines gewissen Bereiches liegt, z.B. innerhalb $\pm 20\text{m}$. In der Karte selber wurde die Unsicherheit nicht visualisiert. Auch die Wahrscheinlichkeits-Technik war rein textbasiert. In der Legende war stets die Wahrscheinlichkeit vermerkt, mit der das Boot die Grenze bereits überquert hat. Die

Abstufungs-Technik zeigte die Unsicherheit hingegen wieder visuell mithilfe der Farbhelligkeit. Je dunkler die Farbe war, desto höher war die Wahrscheinlichkeit, dass das Boot sich bereits in Zone B befand. Die räumlichen Unsicherheiten der Boote wurden bei der Limit- und Abstufungs-Technik mithilfe eines roten Kreises dargestellt. Das Präsentationsmedium war ein GPS-Handgerät, wie es auch auf einem Boot zum Einsatz kommen könnte. Nach Beginn jeder Entscheidungsaufgabe zeigte das Gerät dynamisch, wie sich ein Boot von der Zone A auf die Zone B, welche von Booten nicht befahren werden darf, zubewegt. Die Aufgabe der Teilnehmer war, sich zu entscheiden, wann sie das Boot abdrehen möchten, um zu vermeiden, dass es in die Zone B fährt.



Abb. 22: Verschiedene Techniken, um die räumlichen Unsicherheiten von Grenzen und Booten zu kommunizieren. Die Limit- und Abstufungs-Technik enthalten Unsicherheitsvisualisierungen, die Skala- und Wahrscheinlichkeitstechnik sind textbasiert (Hope und Hunter 2007a).

Die Auswertung zeigte, dass die Teilnehmer sich bei der Limit-Technik signifikant früher entschieden abzdrehen als bei den anderen Techniken. Auch stellten sie fest, dass die Teilnehmer am spätesten abdrehten, wenn die Unsicherheiten der Grenzen mit der Wahrscheinlichkeits-Technik kommuniziert wurden. Obwohl alle Techniken die exakt gleichen Unsicherheiten kommunizierten, führten sie also zu verschiedenen Entscheidungen. Hope und Hunter (2007a) erklären sich das frühe Abdrehen bei der Limit-Technik damit, dass die Teilnehmer bei dieser Visualisierung wohl bereits bei Erreichen der unteren Linie das Gefühl hatten, eine Grenze zu überschreiten, was sie zum frühen abdrehen bewog. Hope und

Hunter (2007a) kommen zum Schluss, dass die Unsicherheitsvisualisierungstechnik einen extrem signifikanten Einfluss auf Entscheidungen haben kann, weshalb es wichtig ist, verschiedene Techniken nicht nur mit Kommunikations-Studien, sondern eben auch mit Effekt-Studien zu vergleichen und zu testen.

Zu einer ähnlichen Erkenntnis kamen Cheong *et al.* (2016). Diese kommunizierten für ihre Studie die Unsicherheiten in Vorhersagen von Waldbränden und deren Ausbreitungen mit sechs verschiedenen Techniken: (1) Grenzen, (2) Farbton, (3) Farbhelligkeit, (4) Transparenz, (5) Textur, und (6) Text. Die Techniken sind in Abb. 23 dargestellt. Alle Karten zeigen die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Stelle vom Brand erfasst wird. Bei der Visualisierung mit zwei Grenzen repräsentiert jede Grenze je eine Wahrscheinlichkeit, dazwischen gibt es keine Wahrscheinlichkeitswerte. Auf jeder Karte wurde zudem der Standort eines Hauses mit einem schwarzen «x» eingezeichnet. Die Aufgabe der Teilnehmer war, sich zu entscheiden, ob sie in dem Haus bleiben oder es verlassen würden. Die Entscheidung der Teilnehmer wurde als korrekt bewertet, wenn sie sich entschieden, das Haus zu verlassen, und es tatsächlich vom Feuer erfasst wurde, oder wenn sie das Haus nicht verliessen und das Feuer das Haus nicht beeinträchtigte. Um die Schwierigkeit zu variieren, musste, nebst einer Gruppe, die die Aufgaben unter «normalen» Bedingungen löste, eine zweite Gruppe die Aufgaben innerhalb eines Zeitlimits lösen (Bedingung: Zeitdruck) und eine dritte Gruppe sich zusätzlich verschiedene Sätze merken (Bedingung: Ablenkung).

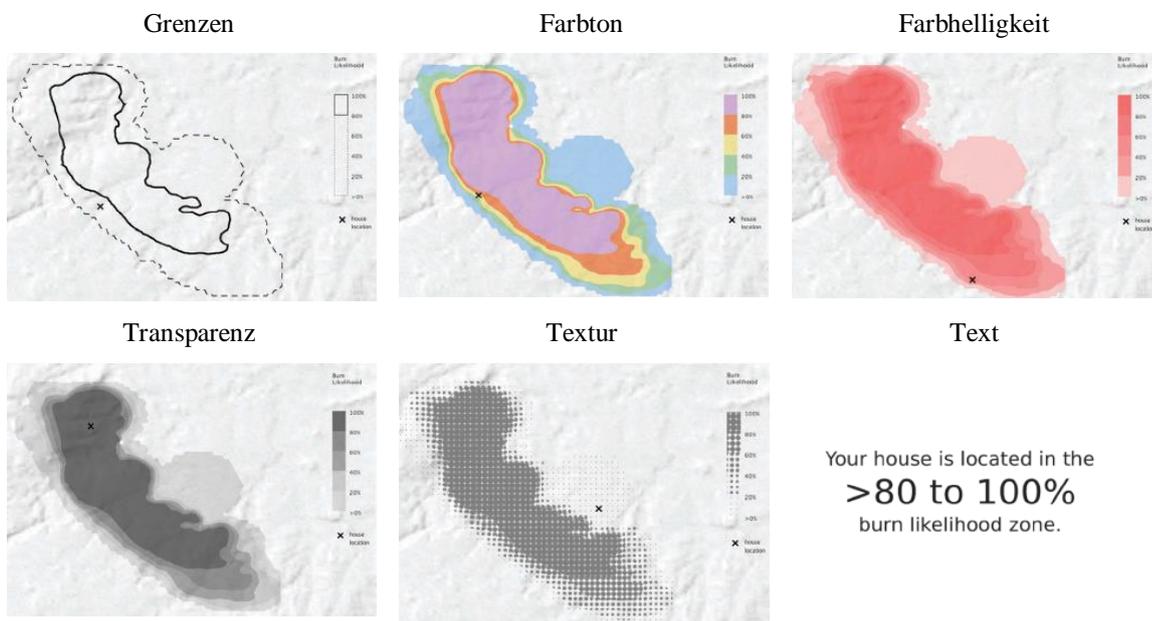


Abb. 23: Sechs verschiedene Techniken, um die Unsicherheiten in Vorhersagen von Waldbränden und deren Ausbreitungen darzustellen. x = Position eines Hauses (Cheong *et al.* 2016).

Unter «normalen» Bedingungen schnitten die Teilnehmer am besten ab mit der textbasierten Unsicherheitskommunikation und am schlechtesten mit der Visualisierung mittels Grenzen. Dies ist überraschend, denn in anderen Studien konnte gezeigt werden, dass mit graphischen Darstellungen korrektere

Entscheidungen getroffen werden als mit Texten. Mit allen anderen Techniken wurden etwa gleich korrekte Entscheidungen getroffen. Auch unter Zeitdruck oder mit Ablenkung trafen die Teilnehmer am meisten falsche Entscheidungen mit der Visualisierung der Unsicherheiten durch zwei Grenzen. Praktisch genauso schlecht schnitten sie jedoch mit der textbasierten Version ab. Während zwischen den restlichen Visualisierungen keine Unterschiede ausgemacht werden können hinsichtlich der Ablenkungs-Bedingung, trafen die Teilnehmer am meisten korrekte Entscheidungen unter Zeitdruck mit der Farbhelligkeitsmethode gefolgt von der Textur und der Transparenz (Cheong *et al.* 2016). Zusammengefasst zeigt auch die Studie von Cheong *et al.* (2016), dass die Unsicherheitsvisualisierungstechnik einen klaren Einfluss auf die Korrektheit von Entscheidungen hat. Zudem konnte gezeigt werden, dass auch die Bedingungen, unter denen die Entscheidungen getroffen werden, einen Effekt auf die Entscheidungen haben. Diese Erkenntnis wird später (in Kapitel 2.10.) nochmals aufgegriffen.

2.8.3. Einfluss auf den Entscheidungsprozess

Die bisher vorgestellten Effekt-Studien konzentrierten sich praktisch allesamt auf die Ergebnisse von Entscheidungen. Da jeder Entscheidung ein Entscheidungsfindungsprozess vorangeht und unterschiedliche Entscheidungen aufgrund von Unsicherheitsvisualisierungen letztendlich wohl auf Unterschiede in den Entscheidungsfindungsprozessen zurückzuführen sind, ist es von grossem Interesse, was für Effekte Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsfindungsprozesse haben. Bis heute gibt es jedoch äusserst wenig Forschung in diesem Bereich.

Ruginski *et al.* (2016) testeten im Kontext von Hurrikan-Vorhersagen unterschiedliche Unsicherheitsvisualisierungen und analysierten, was für Einflüsse sie auf die Entscheidungsprozesse haben. Bei der Kommunikation von Hurrikan-Vorhersagen im TV oder in Zeitungen ist es in den USA üblich, zusätzlich zum vorhergesagten Pfad die Unsicherheiten der Vorhersage mit einem Kegel um den Pfad herum zu visualisieren. Auf dem Pfad in der Mitte sind üblicherweise verschiedene Zeitabstände (z.B. Tage) eingezeichnet. Je grösser der Zeitabstand zum Zeitpunkt der Vorhersage ist, desto grösser sind die Unsicherheiten der Vorhersage (siehe Abb. 24: A). Diese Visualisierungstechnik wird jedoch häufig falsch interpretiert, indem angenommen wird, dass Regionen ausserhalb des Kegels überhaupt nicht vom Hurrikan betroffen sein können. Ruginski *et al.* (2016) entwickelten daher vier neue Techniken, die alle in Abb. 24 dargestellt sind: (1, B) nur vorhergesagter Pfad, (2, C) mehrere mögliche Pfade, (3, D) unscharfer Kegel ohne vorhergesagtem Pfad und (4, E) Kegel ohne vorhergesagtem Pfad. Den Einfluss dieser Visualisierungen auf den Entscheidungsprozess und die Entscheidung testeten sie in einer empirischen Studie. In der Studie mussten sich die Teilnehmer jeweils entscheiden, wie gross wohl die Zerstörung von je einer zusätzlich eingezeichneten Ölbohrplattform durch den Hurrikan sein wird. Als spezielle Methode setzen sie die *Think Aloud*-Methode ein. Bei der *Think Aloud*-Methode müssen die Studienteilnehmer die ganze Zeit laut denken, während sie die Entscheidungsaufgabe lösen, wodurch die Forscher Informationen über den Denk- und Entscheidungsprozess der Teilnehmer erhalten (Fonteyn *et al.* 1993).

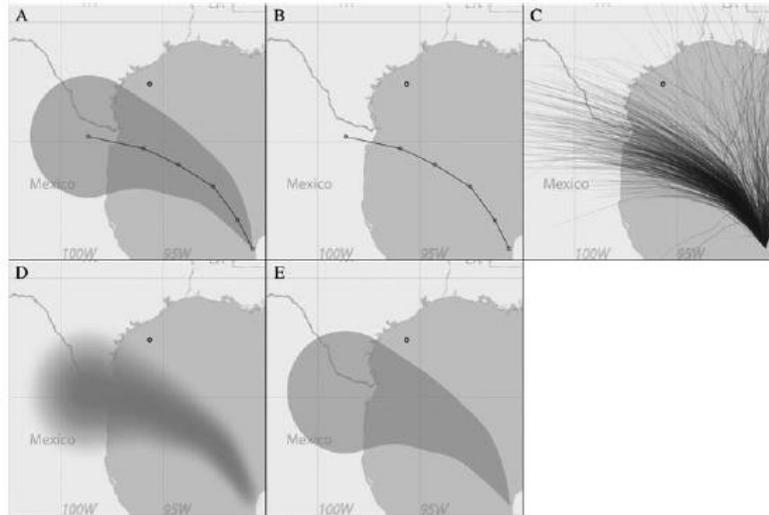


Abb. 24: Fünf verschiedene Darstellungen für die Unsicherheiten einer Hurrikan-Vorhersage. A: Kegel mit vorhergesagtem Pfad, B: vorhergesagter Pfad, C: mehrere mögliche Pfade, D: unscharfer Kegel ohne vorhergesagtem Pfad und E: Kegel ohne vorhergesagtem Pfad (Ruginski *et al.* 2016).

Ruginski *et al.* (2016) fanden bei der Analyse heraus, dass die Teilnehmer die Zerstörung geringer einschätzen bei Verwendung der zwei Visualisierungen ohne eingezeichnete Pfade als bei der Standardmethode mit eingezeichnetem Pfad. Sie schliessen, dass der eingezeichnete Pfad suggeriert, dass in der Mitte des Kegels der Sturm stärker ist. Des Weiteren stellten sie fest, dass die Teilnehmer die mögliche Zerstörung umso grösser einschätzten, je später die Plattform wohl betroffen wäre. Durch die Denkprotokolle wissen Ruginski *et al.* (2016), dass dieses Phänomen auf eine Grössen-Heuristik zurückzuführen ist, die die Grösse des Kegels in Relation setzt zur Stärke der Zerstörung. Besonders stark war dieser Effekt bei den Visualisierungen ohne eingezeichnete Pfade. Bei der Visualisierung mit mehreren Pfaden schätzen die Teilnehmer hingegen die Zerstörung umso geringer ein, je später der Zeitpunkt war. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass bei der Visualisierung mit mehreren Pfaden die Teilnehmer die Region, die zu einem späteren Zeitpunkt von der Zerstörung betroffen wäre, flächenmässig grösser einschätzten als unter Verwendung der anderen Methoden.

Die Denkprotokolle der *Think Aloud*-Methode zeigten, dass die Teilnehmer die Zerstörung basierend auf acht verschiedenen Eigenschaften der Karten einschätzen: (1) Distanz, (2) innerhalb/ausserhalb, (3) Anzahl, (4) Farbhelligkeit, (5) Kurve, (6) Grösse, (7) Intensität, und (8) Bewegung. Jede Eigenschaft entspricht einer bestimmten Heuristik. Bei der Innerhalb-ausserhalb-Heuristik setzen die Teilnehmer beispielsweise die Grösse der Zerstörung in Relation dazu, ob sich die Plattform innerhalb oder ausserhalb des Kegels befand. Bei der Anzahl-Heuristik, die nur bei der Visualisierung mit mehreren möglichen Pfaden angewendet wurde, nahmen die Teilnehmer hingegen an, dass die Zerstörung umso grösser sei, je mehr mögliche Pfade sich in der Nähe der Ölplattform befinden. Vergleiche der angewendeten Heuristiken pro Visualisierungstechnik zeigten, dass bei jeder Visualisierungstechnik andere Heuristiken vermehrt angewendet wurden. Während bei der Standardmethode besonders häufig die Distanz-Heuristik und die Innerhalb-ausserhalb-Heuristik zum Zuge kamen, wendeten die Teilnehmer bei der Visualisierung mit mehreren Pfaden die Farbhelligkeit-Heuristik und die Intensität-Heuristik häufig an.

Zusammengefasst bedeutet das, dass unterschiedliche Unsicherheitsvisualisierungen nicht nur zu anderen Entscheidungen führen, sondern auch zu unterschiedlichen Entscheidungsprozessen.

Auch Kübler (2016) befasste sich damit, was Unsicherheitsvisualisierungen für Einflüsse auf die Entscheidungsprozesse haben. In ihrer Studie mussten sich die Teilnehmer jeweils mithilfe einer Risikokarte entscheiden, welches von vier möglichen Häusern sie kaufen möchten. Zusätzlich zu den Informationen in der Risikokarte (in welcher Gefahrenzone sich das Haus befindet) kannten die Teilnehmer den Preis sowie die Lage jedes Hauses. Die Unsicherheiten der Grenzen zwischen den einzelnen Gefahrenzonen wurden mithilfe von drei verschiedenen Techniken visualisiert: (1) Farbhelligkeit, (2) Verschwommenheit und (3) Textur. Alle drei Techniken sind in Abb. 25 zu sehen. Um Informationen über den Entscheidungsfindungsprozess zu erhalten, wendete Kübler (2016) nicht die *Think Aloud*-Methode, sondern die *Eye Tracking*-Methode an, bei der die Augenbewegungen der Teilnehmer aufgezeichnet werden. Durch Aufzeichnen der Augenbewegungen wusste Kübler (2016), welche Abschnitte der Karte zu welchem Zeitpunkt des Entscheidungsprozesses betrachtet wurden.

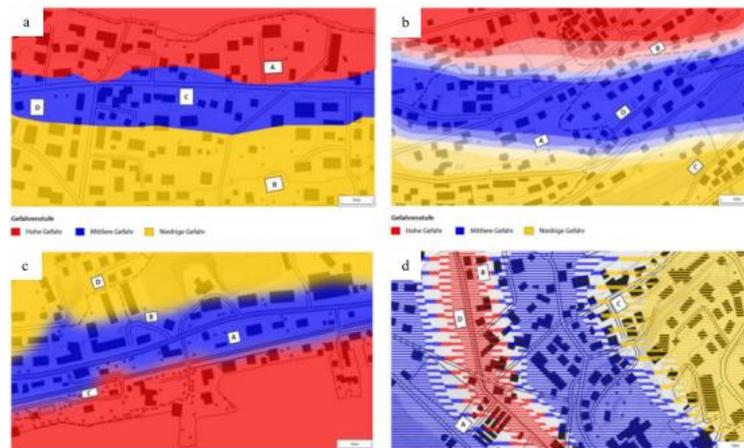


Abb. 25: Vier verschiedene Techniken, um die Grenzen zwischen verschiedenen Gefahrenzonen darzustellen. a: ohne Unsicherheitsvisualisierungen, b: Farbhelligkeit, c: Verschwommenheit und d: Textur (Kübler 2016).

Kübler (2016) fand u.a. heraus, dass die Teilnehmer bei Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen häufiger Häuser in unsicheren Gebieten gewählt haben als in sicheren. Sie führt dies darauf zurück, dass die spezielle Darstellung der Grenzen einerseits die Aufmerksamkeit der Teilnehmer auf sich zog und andererseits die Wahrnehmung der Gefahr insofern veränderte, als die Teilnehmer die Gefahr unterschätzten. Zudem konnte sie beobachten, dass die Teilnehmer sich häufiger für Häuser in der roten Gefahrenzone (grosse Gefahr) entschieden, wenn die Unsicherheiten der Grenzen visualisiert waren.

Bei Karten ohne Unsicherheitsvisualisierungen wählten sie hingegen häufiger Häuser in den blauen (mittlere Gefahr) und gelben (geringe Gefahr) Zonen. Kübler (2016) fand heraus, dass dies auf unterschiedliche Priorisierungen der verschiedenen Faktoren zurückzuführen ist. Bei Karten ohne Unsicherheitsvisualisierungen war der wichtigste Faktor die Gefahr, weshalb die Teilnehmer Häuser an schlechten Lagen, dafür in Zonen ohne Gefahr wählten. Bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen war hingegen die Lage der wichtigste Faktor, weshalb die Teilnehmer auch Häuser in roten Gefahren-

zonen, dafür in guten Lagen wählen. Kübler (2016) nimmt basierend auf den Ergebnissen der Entscheidungen und den Beschreibungen der Entscheidungsstrategien an, dass die Teilnehmer bei ihren Entscheidungen entweder eine gewichtete additive Heuristik, eine attributweise Elimination oder eine Kombination von beiden Heuristiken anwendeten (siehe Kapitel 2.7.) Wenn die gewichtete additive Heuristik zum Zuge kam, so vermutet sie, ordneten die Teilnehmer wohl die Wichtigkeit der Faktoren neu, wenn Unsicherheitsvisualisierungen in der Karte vorhanden waren. Sie kommt zum Schluss, dass «eine Veränderung des Entscheidungsfindungsprozesses zwischen den Karten ohne und mit Unsicherheit z.T. stattgefunden hat» (Kübler 2016: 140).

Die zwei vorgestellten Studien legen dar, dass teilweise aufgrund der Unsicherheitsvisualisierungen eine Veränderung der Entscheidungsfindungsprozesse stattgefunden hat. Daraus resultiert, dass visualisierte Unsicherheiten einen Effekt auf den Entscheidungsprozess haben können. Da es abgesehen von diesen zwei Studien jedoch noch kaum Forschung in diesem Bereich gibt, ist das Wissen darüber, wie und weshalb sich der Entscheidungsprozess genau verändert, noch sehr gering. Von generell gültigen Aussagen über die Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf den Entscheidungsfindungsprozess ist die Wissenschaft noch weit entfernt.

2.8.4. Einfluss auf die benötigte Zeit für eine Entscheidung

Ein Punkt, der bis anhin noch kaum angesprochen wurde, ist die Zeit, die benötigt wird, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Vereinzelt wurde in den Effekt-Studien auch analysiert, welchen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungszeit haben. Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Zeit wurden in der Regel als Effekte auf die Entscheidungsleistung behandelt. Entscheidungen bestehen aus verschiedenen Sequenzen (Keuper 2004). Da in der Regel der Entscheidungsprozess deutlich länger dauert als der Akt der Entscheidung selber (Cornélis und Brunet 2002), können Effekte auf die Entscheidungszeit auch als Effekte auf den Entscheidungsprozess betrachtet werden, weshalb sie in dieser Arbeit erst an dieser Stelle diskutiert werden.

Unter den ersten Studien, die die benötigte Zeit für die Entscheidungen analysierten, ist die bereits erläuterte von Leitner und Buttenfield (2000) (siehe Kapitel 2.8.1). Leitner und Buttenfield (2000) nahmen an, dass umso mehr Zeit für die mentale Verarbeitung der Karteninformationen benötigt wird, je detaillierter eine Karte ist. Folglich erwarteten sie, dass Unsicherheitsvisualisierungen zu längeren Entscheidungszeiten führen. Während das Hinzufügen von zusätzlichen Attributklassen die Entscheidungszeiten tatsächlich verlängerten, was ihren Erwartungen entsprach, gab es keine Unterschiede in den Entscheidungszeiten zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen. Dies bedeutet nach Leitner und Buttenfield (2000), dass Unsicherheitsvisualisierungen nicht als zusätzliches Kartenelement empfunden werden wie die zusätzlichen Attributklassen, sondern als Spezifizierung der bestehenden Elemente.

Auch Riveiro *et al.* (2014) und Kübler (2016) konnten in ihren Studien keine Zeitunterschiede zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen feststellen. Sie kommen also wie

Leitner und Buttenfield (2000) zum Schluss, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Einfluss auf die Entscheidungszeit haben.

Andre und Cutler (1998) stellten in ihrer Studie fest, dass die Teilnehmer der Gruppe, die Unsicherheitsvisualisierungen zur Verfügung hatte, in derselben Zeit mehr korrekte Entscheidungen trafen als die Teilnehmer der Gruppe, die sich ohne Unsicherheitsvisualisierungen entscheiden musste. Dies kommt einer Reduktion der Entscheidungszeit durch Unsicherheitsvisualisierungen gleich.

Zusammengefasst konnte also gezeigt werden, dass Unsicherheitsvisualisierungen häufig keinen Einfluss auf die Entscheidungszeit haben, was positiv ist, da es bedeutet, dass Unsicherheitsvisualisierungen die Karte nicht schwerer verständlich machen. In manchen Fällen können Unsicherheitsvisualisierungen sich sogar so positiv auf die Entscheidungszeit auswirken, dass sie die Entscheidungszeit verkürzen, während die Leistung der Kartennutzer besser wird oder auf gleichem Niveau bleibt.

2.8.5. Akzeptanz von Unsicherheitsvisualisierungen

Unsicherheitsvisualisierungen können jedoch noch so positive Effekte auf die Entscheidung, den Entscheidungsprozess oder die Entscheidungszeit haben, wenn Entscheidungsträger nicht bereit sind, sich mit ihnen auseinanderzusetzen, sie zu akzeptieren und sie in ihre Entscheidung miteinzubeziehen, haben sie keinen Nutzen (Kinkeldey *et al.* 2015a). Einige Forscher haben daher in ihren Studien im Anschluss auf die Entscheidungsaufgaben die Teilnehmer darüber befragt, was sie von Unsicherheitsvisualisierungen halten, um deren Akzeptanz zu erforschen. Dabei kamen sie zu teilweise sehr unterschiedlichen Schlüssen.

Cliburn *et al.* (2002) und Slocum *et al.* (2003), die ein Wasserbilanzmodell entwickelten und dessen Unsicherheiten mit Glyphs visualisierten (siehe Kapitel 2.6.1.), stellten fest, dass Entscheidungsträger sich unbehaglich fühlen, wenn sie bei ihren Entscheidungen die Unsicherheiten der Daten sehen. Zudem halten sie fest, dass die Gefahr besteht, dass Entscheidungsträger bei Informationen mit vielen Unsicherheiten dem Entscheidungsproblem einfach aus dem Weg gehen, statt die Unsicherheiten sinnvoll in ihre Entscheidungen miteinzubeziehen. Eine weitere Gefahr ist, dass die Unsicherheiten per se nur als Nachteil angesehen werden und daher als Gegenargument verwendet werden könnten.

In den Studien von Aerts *et al.* (2003) und Pyysalo und Oksanen (2014) gaben hingegen mehr als 70% der Teilnehmer an, dass sie der Meinung sind, dass Unsicherheitsvisualisierungen die Sicht auf die Informationen und die Analyse verbessern und sie sie daher für nützlich halten.

Die unterschiedlichen Auffassungen verschiedener Entscheidungsträger in unterschiedlichen Kontexten zeigen, dass Entscheidungsträger Unsicherheitsvisualisierungen nicht immer für nützlich halten und in manchen Fällen es bevorzugen würden, diese nicht zur Kenntnis nehmen zu müssen. Da Unsicherheitsvisualisierungen ausserhalb des wissenschaftlichen Kontextes noch nicht sehr verbreitet sind, kamen viele Entscheidungsträger noch nie explizit mit Unsicherheiten in Daten in Berührung, was dazu führen kann, dass sie sie nicht akzeptieren. Cliburn *et al.* (2002) und Slocum *et al.* (2003) sind daher der Meinung, dass es hilfreich wäre, den Entscheidungsträgern Anleitungen, wie mit den Unsicherheiten umzugehen ist, anzubieten, um deren Akzeptanz zu steigern. Auch Kinkeldey *et al.* (2015b) kamen nach

halbstrukturierten Interviews mit Experten über den Einsatz von Unsicherheitsvisualisierungen im Kontext von Landnutzungsänderungskarten zum Schluss, dass den Entscheidungsträgern aufgezeigt werden muss, dass visualisierte Unsicherheiten die Daten nicht minderwertig machen, sondern sie vielmehr aufwerten.

Da es jedoch noch relativ wenige Studien gibt, die sich auf die Akzeptanz von Unsicherheitsvisualisierungen fokussieren, kann noch keine Aussage darüber gemacht werden, ob Anleitungen hilfreich wären und wie man generell eine breitere Akzeptanz für Unsicherheitsvisualisierungen schaffen kann (Kinkeldey *et al.* 2015a, Kinkeldey *et al.* 2015b).

2.8.6. Rolle der Fachkompetenz

Ein Punkt, der bisher noch nicht angesprochen wurde, jedoch in den meisten Effekt-Studien zumindest kurz thematisiert wird, ist die Rolle der Fachkompetenz auf die Entscheidungen. Aus der Entscheidungsforschung ist bekannt, dass bei Entscheidungen mit Unsicherheiten die Fachkompetenz eine wesentliche Rolle spielen kann. So können Experten Dinge in Daten sehen, die Laien nicht wahrnehmen. Experten sehen beispielsweise eher ganz feine Unterschiede oder Muster, haben eher einen Überblick über das grosse Ganze, nehmen eher verschiedene Perspektiven ein oder erkennen eher ihre Grenzen (Klein 1998). Experten haben jedoch auch eher eine vorgefertigte Meinung und betrachten neue Informationen weniger aufmerksam als Laien, weshalb eine grosse Fachkompetenz nicht immer nur positive Einflüsse hat (Fisher *et al.* 2003). Um zu untersuchen, welche Einflüsse die Fachkompetenz auf das Verständnis von Unsicherheitsvisualisierungen und Entscheidungen hat, arbeiteten einige Forscher mit Teilnehmern unterschiedlicher Fachkompetenz und verglichen deren Verständnis und Entscheidungen (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Evans (1997) stellte in ihrer Kommunikations-Studie fest, dass Laien und Experten im Umgang mit Karten und GIS ein gleich gutes Verständnis für Unsicherheitsvisualisierungen haben. So konnte sie keine Unterschiede zwischen den zwei Gruppen im Umgang mit den Unsicherheitsvisualisierungen feststellen und auch die Korrektheit der Antworten war bei beiden Gruppen gleich. In Bezug auf die zwei verschiedenen angewendeten Visualisierungstechniken zeigten die Teilnehmer der verschiedenen Gruppen ebenso keine unterschiedlichen Präferenzen.

Zu einer gleichen Erkenntnis kamen Aerts *et al.* (2003), die eine ähnliche Unsicherheitsvisualisierungstechnik anwendeten wie Evans (1997). Sowohl Laien wie auch Experten im Bereich Visualisierungen, GIS und Stadtplanung (da es um ein Stadtentwicklungsmodell ging) reagierten positiv auf die Unsicherheitsvisualisierungen. Des Weiteren hatte die Fachkompetenz keinen Einfluss auf das Verständnis oder den Umgang mit Unsicherheitsvisualisierungen. Unterschiede zwischen Laien und Experten konnten Aerts *et al.* (2003) jedoch teilweise bei der Präferenz für bestimmte Visualisierungstechniken feststellen.

Auch Cliburn *et al.* (2002) und Slocum *et al.* (2003) stellten fest, dass Laien andere Unsicherheitsvisualisierungstechniken bevorzugen als Experten. Sie kamen, wie in Kapitel 2.6.1. bereits erläutert,

zum Schluss, dass Experten eher extrinsische Methoden wie Glyphs und Laien eher intrinsische Methoden bevorzugen.

In Hope und Hunters (2007b) Effekt-Studie mussten die Teilnehmer zu Beginn auf einer Skala von 1 (Laie) bis 3 (Experte) angeben wie gross ihre Fachkompetenz in GIS ist. Bei der Auswertung stellten sie fest, dass Teilnehmer mit der meisten Erfahrung signifikant häufiger Regionen mit geringer Unsicherheit gewählt haben als alle anderen Teilnehmer. Hingegen wählten Teilnehmer mit wenig oder gar keiner Erfahrung tendenziell häufiger Regionen mit Unsicherheiten. Nach Hope und Hunter (2007b) hat folglich die Fachkompetenz anders als bei Evans (1997) oder Aerts *et al.* (2003) einen Einfluss auf den Gebrauch von Unsicherheitsvisualisierungen. Hope und Hunter schliessen zudem aus ihrer Studie, dass auch Experten im Umgang mit räumlichen Daten kein intuitives Verständnis dafür haben, wie mit Unsicherheiten umzugehen ist.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass es sowohl Studien gibt, deren Ergebnisse darauf hindeuten, dass die Fachkompetenz keinen Einfluss hat auf das Verständnis und den Gebrauch von Unsicherheitsvisualisierungen, als auch solche, die zeigen, dass Teilnehmer mit unterschiedlicher Fachkompetenz unterschiedlich mit Unsicherheitsvisualisierungen umgehen, was zu verschiedenen Entscheidungen führen kann. Auch gibt es unterschiedliche Erkenntnisse darüber, ob Laien und Experten mit denselben Unsicherheitsvisualisierungstechniken gleich gut arbeiten können und ob sie dieselben Techniken bevorzugen oder ob es bezüglich der Techniken Unterschiede gibt. Kinkeldey *et al.* (2015a) kommen nach ausgiebigem Literaturstudium zum Schluss, dass die Fachkompetenz wohl keine Rolle spielt, wenn es nur darum geht, Werte aus einer Karte mit Unsicherheitsvisualisierungen herauszulesen. Die Fachkompetenz spielt hingegen eher eine Rolle, wenn realitätsnahe, komplexe Entscheidungen zu treffen sind.

Ein letzter Punkt, der an dieser Stelle erläutert wird, da er teilweise auch mit dem Thema der Fachkompetenz verbunden ist, ist der Kontext, in dem die Forscher ihre Studienteilnehmer rekrutieren. Die Mehrheit aller Forscher rekrutiert ihre Studienteilnehmer aus dem universitären Kontext (u.a. Keuper 2004, Hope und Hunter 2007b, Viard *et al.* 2011, Kübler 2016 oder McKenzie *et al.* 2016). Dabei werden Bachelorstudierende häufig als Laien und Masterstudierende und/oder Doktorierende als Experten betrachtet (Kinkeldey *et al.* 2015b). Die Durchführung von empirischen Studien mit lediglich Studenten als Teilnehmer ist jedoch kontrovers. So ist beispielsweise fraglich, wie repräsentativ Studenten für die gesamte Gesellschaft sind und inwiefern Erkenntnisse, die mit Studenten als Teilnehmer gewonnen wurden, verallgemeinert werden können (Gordon 1986). Trotz der Kontroverse wird jedoch in den Studien über Unsicherheitsvisualisierungen selten begründet, weshalb Studenten als Teilnehmer rekrutiert werden. Lediglich Hope und Hunter (2007b) und Kübler (2016) äussern sich explizit darüber. Hope und Hunter (2007b) wählten Studenten, da sie annahmen, dass Studenten «eine zufällige Auswahl von möglichen Nutzern räumlicher Informationen repräsentieren» (Hope und Hunter 2007b: 204). Kübler (2016) wählte Studenten, da sie grossen Wert darauf legte, dass die Gruppe der Teilnehmenden möglichst homogen war, was bei der Wahl von Studenten als Teilnehmer gegeben war. McKenzie *et al.* (2016) betrachtete jedoch genau die Homogenität der studentischen Teilnehmer im Nachhinein als Beschränkung

ihrer Studie. Auch Keuper (2004) ist sich bei der kritischen Betrachtung seiner Studie im Unklaren darüber, inwiefern seine Ergebnisse verallgemeinert werden können, und betrachtet es als notwendig, in Zukunft zu untersuchen, wie Teilnehmer, die die Gesellschaft besser widerspiegeln, mit Unsicherheitsvisualisierungen umgehen.

Zusammengefasst scheint es notwendig, dass in den zukünftigen Studien über Unsicherheitsvisualisierungen, seien es Kommunikations- oder Effekt-Studien, die Fachkompetenz der Teilnehmer genauer definiert wird, auch wenn es sich bei den Teilnehmern hauptsächlich um Studenten handelt oder nicht konkret auf die Fachkompetenz eingegangen wird (Kinkeldey *et al.* 2015a).

2.9. Entscheidungen unter Zeitdruck

In den vorhergehenden Kapiteln wurde ausführlich erläutert, was für einen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf den Entscheidungsfindungsprozess und die Entscheidung selber haben können. Dabei wurde in Kapitel 2.8.4. auch kurz auf den Aspekt der Zeit, die für eine Entscheidung benötigt wird, eingegangen.

Ganz allgemein ist das Sammeln von Informationen für eine Entscheidung und die kognitive Verarbeitung der Informationen ein zeitintensiver Prozess. Entscheidungsträger limitieren daher so gut wie immer die Zeit, die sie für diesen Prozess aufbringen wollen oder können, sofern nicht bereits ein Zeitlimit von aussen gegeben ist. Folglich werden alle Entscheidungen unter einer Art von Zeitdruck gefällt, wobei dieser mal grösser, mal kleiner und mal so gering sein kann, dass er nicht spürbar ist (Busemeyer und Townsend 1993). In der Unsicherheitsvisualisierungsforschung wurde jedoch der Aspekt des Zeitdrucks bei Entscheidungen kaum beachtet. So hatten die Teilnehmer in den vorgestellten Studien, mit Ausnahme der Studien von Riveiro *et al.* (2014) und Cheong *et al.* (2016), stets so viel Zeit für ihre Entscheidung zur Verfügung, wie sie benötigten, was jedoch nicht immer realen Entscheidungsszenarien entspricht.

Da in dieser Arbeit u.a. auch der Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen unter Zeitdruck analysiert werden soll, wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert, was Zeitdruck überhaupt ist und was für einen Einfluss er auf Entscheidungen im Allgemeinen haben kann. Anschliessend wird erläutert, was für Einflüsse Zeitdruck auf den Kartengebrauch und kartenbasierte Entscheidungen haben kann.

2.9.1. Definition von Zeitdruck

Eine Zeitbeschränkung besteht immer, wenn die zur Verfügung stehende Zeit limitiert ist. Ein Zeitdruck hingegen besteht nur, wenn die Zeitbeschränkung ein Gefühl von Stress auslöst (Ordóñez und Benson 1997). Zeitdruck ist folglich eine subjektive Reaktion auf eine Zeitbeschränkung und verbunden mit starker Erregung (Svenson und Edland 1987). Aus den Definitionen kann geschlossen werden, dass einerseits nicht immer, wenn ein Zeitlimit besteht, auch ein Zeitdruck vorhanden ist, und andererseits, dass bei einem bestimmten Zeitlimit einige Personen bereits einen Zeitdruck verspüren und andere noch nicht (Ordóñez und Benson 1997).

In der hier vorliegenden Arbeit wird einfachheitshalber stets von Zeitdruck gesprochen, so ist z.B. von Aufgaben ohne und unter Zeitdruck die Rede. Korrekterweise müsste jedoch so lange von Zeitlimit statt von Zeitdruck gesprochen werden, bis erwiesen ist, dass nicht nur ein Zeitlimit, sondern auch ein Zeitdruck vorliegt.

Zeitdruck wird in Studien häufig als binäre Variable behandelt. So ist von tiefem und hohem Zeitdruck die Rede. Bei tiefem Zeitdruck ist das Zeitlimit so gewählt, dass genügend Zeit für die Aufgabe vorhanden ist, bei hohem Zeitdruck beträgt das Zeitlimit häufig die Hälfte dieser Zeit oder noch weniger (Hwang 1994).

2.9.2. Effekte von Zeitdruck auf die Entscheidung und den Entscheidungsprozess

Schlechte Entscheidungen werden häufig mit dem vorhandenen Zeitdruck begründet. Dahinter steckt die verbreitete Annahme, dass Zeitdruck Fehlentscheidungen hervorruft. Diese Annahme ist jedoch zu einfach, denn Stressoren wie Zeitdruck beeinflussen zwar die Art und Weise, wie Informationen prozessiert werden, bewirken jedoch nicht, dass per se schlechte Entscheidungen getroffen werden. Die Einflüsse von Zeitdruck auf Entscheidungen sind folglich deutlich komplexer, als die weit verbreitete Annahme suggeriert (Klein 1998). Im Allgemeinen ist sich die Wissenschaft einig, dass Zeitdruck den Entscheidungsprozess und die daraus resultierenden Entscheidungen verändert (Hwang 1994). Es herrscht jedoch Uneinigkeit darüber, zu was für Veränderungen Zeitdruck führt. Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Theorien erläutert.

Negative Effekte von Zeitdruck

Negative Effekte von Zeitdruck auf die Entscheidungsleistung werden häufig mithilfe des Konzepts des Geschwindigkeit-Korrektheit-Trade-offs (englisch: *speed-accuracy trade-off*) charakterisiert. Das Konzept besagt, dass die Korrektheit einer Entscheidung umso geringer ist, je schneller eine Entscheidung getroffen werden muss (Wilkening 2012). Nach Forschern wie Ahituv *et al.* (1998) schmälert daher Zeitdruck für gewöhnlich die Entscheidungsleistung. Nach Hwang (1994) schmälert Zeitdruck die Leistung, weil Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht. Die erhöhte Aufgabenschwierigkeit zwingt Entscheidungsträger, eine suboptimale Entscheidungsstrategie zu wählen, was in einer Abnahme der Entscheidungsleistung resultiert.

Zeitdruck kann sich nicht nur negativ auf die Entscheidungsleistung auswirken, sondern auch auf die Entscheidungssicherheit. So gibt es analog zum Konzept des Geschwindigkeit-Korrektheit-Trade-offs das Konzept des Geschwindigkeit-Entscheidungssicherheit-Trade-offs (englisch: *speed-confidence trade-off*) (Maule 1998 zit. in Wilkening 2012). Dieses besagt, dass sich ein Entscheidungsträger seiner Entscheidung umso unsicherer ist, je grösser der Zeitdruck ausfällt (Wilkening 2012).

Positive Effekte von Zeitdruck

Basierend auf den Ergebnissen ihrer Studien, kamen andere Forscher zur Erkenntnis, dass Zeitdruck auch positive Effekte auf die Entscheidung haben kann. So stellten beispielsweise Peters *et al.* (1984) fest, dass Zeitdruck keinen linearen Effekt auf die Entscheidungsleistung hat, wie das Konzept des Geschwindigkeit-Korrektheit-Trade-offs besagt. Nach Peters *et al.* (1984) erhöht ein geringer bis mittlerer

Zeitdruck die Entscheidungsleistung und erst bei grossem Zeitdruck nimmt die Leistung ab. Ein geringer und mittlerer Zeitdruck wirkt sich also positiv auf die Entscheidung aus und nur ein grosser Zeitdruck hat negative Auswirkungen. Hwang (1994) bezeichnet diesen Zusammenhang als umgekehrt U-förmig (englisch: *inverted U-shaped*). Nicht nur die Abnahme der Entscheidungsleistung, sondern auch die Verbesserung der Entscheidungsleistung ist nach Hwang (1994) darauf zurückzuführen, dass Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht. Die Herausforderung einer schwierigeren Aufgabe fördert die Entschlossenheit, diese zu erfüllen. Der Entscheidungsträger fühlt sich folglich dem Ziel mehr verbunden, was zu einer Erhöhung der Leistung führt.

Basierend auf den zwei Hypothesen über die Effekte von Zeitdruck auf Entscheidungen, hat Hwang (1994) ein Modell für Entscheidungen unter Zeitdruck aufgestellt. Das Modell ist in Abb. 26 graphisch dargestellt. Es besagt, dass Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht. Die erhöhte Aufgabenschwierigkeit wirkt sich zum einen negativ auf die Entscheidungsstrategie aus, was sich wiederum negativ auf die Entscheidungsleistung auswirkt. Zum anderen hat die erhöhte Aufgabenschwierigkeit einen positiven Effekt auf die Zielbindung (Verbundenheit mit dem Ziel), was die Leistung steigert. Die Aufgabenschwierigkeit verändert sich in Abhängigkeit von der Stärke des Zeitdrucks. Je nachdem wie stark sich die Aufgabenschwierigkeit verändert, überwiegt der positive oder negative Effekt auf die Entscheidungsleistung.

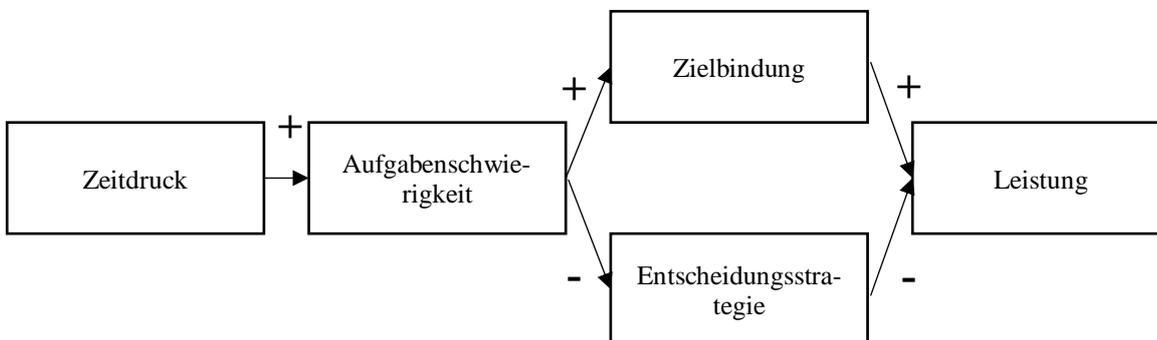


Abb. 26: Modell für Entscheidungen unter Zeitdruck nach Hwang (1994). Pluszeichen = positive Auswirkungen, Minuszeichen = negative Auswirkungen (Hwang 1994, die Darstellung wurde leicht adaptiert).

Zeitdruck kann einen negativen Effekt auf die Entscheidungsleistung haben, weil Entscheidungsträger andere Entscheidungsstrategien anwenden, um die kognitive Belastung zu reduzieren (Hwang 1994). Bei diesen Strategien handelt es sich, wie bei den Strategien für Entscheidungen unter Unsicherheit, um Heuristiken. Ahituv *et al.* (1998) schliessen basierend auf einer Vielzahl an Literatur zu diesem Thema, dass Entscheidungsträger, die unter Zeitdruck stehen, weniger, dafür aber wichtigere Attribute verwenden, negative Aspekte stärker gewichten, geringere Risiken eingehen und weniger Optionen berücksichtigen als Entscheidungsträger mit unbeschränkt viel Zeit.

Etwas konkreter sind Maule und Edland (1997) der Meinung, dass Entscheidungsträger drei Strategien anwenden, um trotz Zeitdruck zu einer Entscheidung zu gelangen: (1) Beschleunigung, (2) Filtra-

tion und (3) Auslassung. Bei der Beschleunigungsstrategie geht es darum, die Geschwindigkeit der Aktivitäten zu beschleunigen. Eine Beschleunigung kann herbeigeführt werden durch eine schnellere Rate bei der Informationsprozessierung (mehr Information pro Zeiteinheit) oder durch Eliminierung von Pausen oder anderen Unterbrechungen. Bei der Filtration werden die Attribute, die als wichtig betrachtet werden, priorisiert und daher zuerst prozessiert. Dies kann dazu führen, dass diese auch stärker gewichtet werden. Bei der Auslassung werden schliesslich ganze Attribute über alle Optionen hinweg komplett ignoriert.

In einer empirischen Studie testeten Maule *et al.* (2000), welche der genannten Strategien von Entscheidungsträgern wirklich angewendet werden. Dabei kamen sie zum Schluss, dass die Teilnehmer sowohl die Beschleunigungs- wie auch die Filtrationsstrategie anwandten, um sich dem Zeitdruck anzupassen. Maule *et al.* (2000) konnten zudem feststellen, dass sich die Prioritäten, mit denen einzelne Attribute prozessiert wurden, veränderten. Sie konnten jedoch nicht feststellen, dass negative Aspekte stärker gewichtet wurden, was Ahituv *et al.* (1998) annahmen. Stattdessen konnten sie beobachten, dass der Zeitdruck dazu führte, dass die Teilnehmer allgemeine Informationen gegenüber spezifischen Informationen priorisierten. Maule *et al.* (2000) nehmen an, dass die Teilnehmer innerhalb der begrenzten Zeit lieber ein breites Verständnis erlangen als ein detailreiches Wissen über einzelne Attribute der Optionen.

2.10. Einfluss von Zeitdruck auf den Kartengebrauch und kartenbasierte Entscheidungen

Im vorherigen Unterkapitel wurde aufgezeigt, welchen Effekt Zeitdruck im Allgemeinen auf den Entscheidungsprozess und die daraus resultierenden Entscheidungen haben kann. Im geographischen Kontext wurde u.a. über die Auswirkungen von Zeitdruck auf die kartenbasierte Navigation (z.B. Frei 2015), auf den Kartengebrauch (z.B. Wilkening 2012 oder Roullier 2013) oder auf kartenbasierte Entscheidungen (z.B. Wilkening 2012) geforscht. In diesem Unterkapitel werden einige für diese Arbeit relevanten Erkenntnisse aus diesen Bereichen erläutert.



Abb. 27: Verschiedene Kartendarstellungen für die Routenwahl in Wilkenings (2012) Studie. A: Terrainkarte mit schattiertem Relief, B: topographische Karte mit Höhenlinien, C: Strassenkarte mit schattiertem Relief, D: Satellitenbild mit 3D-Ansicht, E: Strassenkarte mit Distanzangaben und F: Satellitenbild mit Strassennamen.

Wilkening (2012) untersuchte u.a. in seiner Dissertation, ob Kartennutzer unter Zeitdruck andere Kartendarstellungen bevorzugen als Kartennutzer ohne Zeitdruck. Dazu mussten die Teilnehmer seiner empirischen Studie mithilfe von sieben verschiedenen Karten (siehe Abb. 27) eine Routenwahl durchführen. Gab es kein Zeitlimit für die Routenwahl bevorzugten die Teilnehmer die Strassenkarte mit

schattiertem Relief. Mussten sie sich jedoch unter Zeitdruck für eine Route entscheiden, bevorzugten sie die Strassenkarte mit Distanzangaben. Am unbeliebtesten war die topographische Karte mit Höhenlinien bei der Routenwahl ohne Zeitlimit. Bei der Routenwahl mit Zeitlimit war die Terrainkarte mit schattiertem Relief am unbeliebtesten. Zeitdruck hat folglich einen Einfluss auf die Präferenz hinsichtlich einer Kartendarstellung.

In einer weiteren Studie untersuchte Wilkening, welchen Einfluss Zeitdruck auf eine kartenbasierte Entscheidungen im 3D-Kontext hat. Dazu verwendete er abermals verschieden Kartendarstellungen (siehe Abb. 28), aus denen die Hangneigung herausgelesen werden konnte. In der Studie mussten sich die Teilnehmer je nach Aufgabe unter geringem, mittlerem oder grossem Zeitdruck entscheiden, welche von sechs eingezeichneten Helikopterlandeplätzen eine Hangneigung von weniger als 14% aufweisen und somit tatsächlich flach genug sind für eine Helikopterlandung.

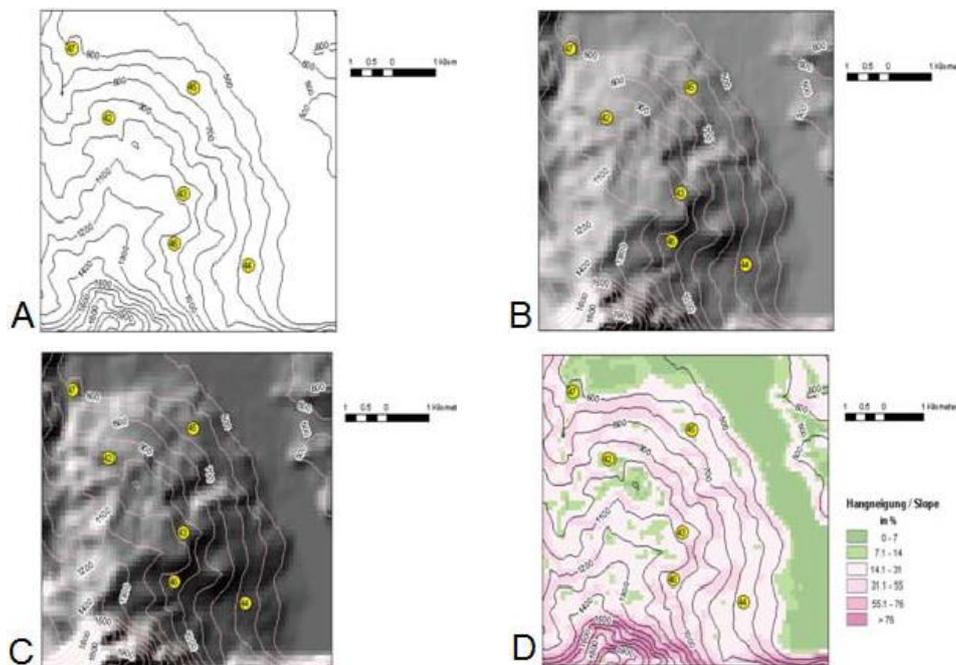


Abb. 28: Verschiedene Kartendarstellungen für die Wahl eines Helikopterlandeplatzes in Wilkenings (2012) Studie. A: nur Höhenlinien, B: hell schattiertes Relief mit Höhenlinien, C: dunkel schattiertes Relief mit Höhenlinien, D: Hangneigungskarte mit Höhenlinien.

In Bezug auf die verschiedenen Kartendarstellungen fand Wilkening (2012) heraus, dass die Teilnehmer mit der Hangneigungskarte signifikant besser abschnitten als mit allen anderen Karten. Zudem fühlten sie sich mit dieser Karte in ihrer Entscheidung am sichersten. In Bezug auf den Zeitdruck fand Wilkening (2012) bei dieser Entscheidungsaufgabe heraus, dass die Teilnehmer am besten bei mittlerem Zeitdruck abschnitten, gefolgt vom Bewältigen unter geringen Zeitdruck. Die schlechteste Leistung erzielten die Teilnehmer unter grossem Zeitdruck. Wilkening (2012) konnte also beobachten, dass die Entscheidungsleistung dem umgekehrt U-förmigen Konzept folgt. Den gleichen Zusammenhang konnte er bei der Entscheidungssicherheit feststellen. Am sichersten fühlten sich die Teilnehmer bei den Entscheidungen unter mittlerem Zeitdruck, gefolgt von den Entscheidungen, die unter geringem Zeitdruck gefällt wurden. Am unsichersten fühlten sie sich bei Entscheidungen unter grossem Zeitdruck. Auch die

Entscheidungssicherheit folgt demzufolge dem umgekehrt U-förmigen Konzept, obwohl dieses nur für die Entscheidungsleistung aufgestellt wurde.

Zusammenfassend konnte Wilkening (2012) zeigen, dass Zeitdruck die Präferenzen für Kartendarstellungen verändert. Zudem stellte er fest, dass Zeitdruck bei kartenbasierten Entscheidungen gleiche Effekte auf die Entscheidungsleistung hat wie auf Entscheidungen im nicht geographischen Kontext. Wilkening (2012) ging jedoch nicht genauer darauf ein, ob auch eine Veränderung des Entscheidungsprozesses stattfand, indem beispielsweise andere Strategien zum Einsatz kamen.

Cheong *et al.* (2016) gehören meines Wissens zurzeit zu den einzigen Forschern, die den Einfluss von Zeitdruck auf kartenbasierte Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen untersucht haben. Auch sie konnten wie Wilkening (2012) feststellen, dass unter Zeitdruck andere Darstellungen bevorzugt werden als unter «normalen» Bedingungen. Da sie verschiedene Unsicherheitsvisualisierungstechniken testeten, impliziert das, dass bei Entscheidungen unter Zeitdruck andere Unsicherheitsvisualisierungstechniken priorisiert werden als bei Entscheidungen ohne Zeitdruck. Weil die Entscheidungsleistung bei Entscheidungen unter Zeitdruck im Vergleich zu Entscheidungen ohne Zeitdruck abgenommen hat, nehmen sie zudem an, dass der Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht hat (Cheong *et al.* 2016). Diese Erkenntnisse lassen erahnen, dass Zeitdruck ähnliche Effekte hat auf kartenbasierte Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen wie auf «normale» kartenbasierte Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen. Da es sich bei der Studie von Cheong *et al.* (2016) jedoch nach meiner Kenntnis um die erste Studie handelt, die dies auch nur Ansatzweise untersuchte, ist dies lediglich eine vorläufige Annahme.

2.11. Eingliederung der Arbeit in den Forschungskontext

Zu Beginn des Forschungskontext-Kapitels wurde erläutert, was Unsicherheiten sind, wie sie entstehen und was für verschiedene Arten von Unsicherheiten es im Kontext von räumlichen Daten gibt. Da in der Studie, die für diese Arbeit durchgeführt wird, Unsicherheiten in Hangneigungsberechnungen dargestellt werden, wurde im Speziellen vorgestellt, wie Unsicherheiten in DHMs entstehen und wie sie berechnet werden können.

Anschliessend wurde diskutiert, wie Unsicherheiten in räumlichen Daten den Nutzern der Daten kommuniziert werden können. Seit Lancierung der Initiative zum Thema «*Visualization of Data Quality*» durch die NCGIA (Beard *et al.* 1991) befassen sich Forscher intensiv mit der visuellen Kommunikation von Unsicherheiten.

Im Laufe der Zeit wurde daher eine Vielzahl an Unsicherheitsvisualisierungstechniken für verschiedenste Anwendungsbereiche entwickelt. In sogenannten Kommunikations-Studien wurde getestet, wie intuitiv verständlich die entwickelten Techniken sind, wie gut visualisierte Unsicherheiten verstanden werden, ob Kartennutzer mit den Unsicherheitsvisualisierungen umgehen können und ob Unsicherheitsvisualisierungen Karten visuell überladen. Mithilfe dieser Studien konnte gezeigt werden, dass Kartennutzer mit Unsicherheitsdarstellungen umgehen können und dass Unsicherheitsvisualisierungen Kar-

ten nicht per komplizierter machen. Allgemeingültige Aussagen darüber, in welchem Fall welche Unsicherheitsvisualisierungstechnik angewendet werden sollte, gibt es jedoch bis heute nicht (Kinkeldey *et al.* 2014a).

Letztendlich sollten Unsicherheitsvisualisierungen jedoch nicht nur verstanden werden, sondern sie sollten einen Entscheidungsträger in seiner Entscheidung unterstützen (Pang *et al.* 1997). Da mehr und mehr Stimmen laut wurden, die forderten, dass nicht nur das Verständnis von Unsicherheitsvisualisierungen getestet wird, sondern vielmehr deren Einfluss auf Entscheidungen und die Entscheidungsprozesse, nehmen seit der Jahrhundertwende sogenannte Effekt-Studien deutlich zu. Diese untersuchen Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsleistung, auf die Entscheidungssicherheit sowie auf die Entscheidungszeit. Da es teilweise widersprüchliche Erkenntnisse (sowohl positive wie auch negative Effekte) oder schlichtweg noch zu wenig Forschung gibt, herrscht zum jetzigen Zeitpunkt nur Einigkeit darüber, dass Unsicherheitsvisualisierungen Entscheidungen in irgendeiner Art und Weise verändern (Kinkeldey *et al.* 2015a).

Noch viel weniger ist bekannt über den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsprozesse, die den Entscheidungen vorangehen. Neure Studien versuchen mithilfe spezieller Methoden wie der *Think Aloud*-Methode (Ruginski *et al.* 2016) oder der *Eye Tracking*-Methode (Kübler 2016) mehr darüber herauszufinden, ob und wie Unsicherheitsvisualisierungen den Entscheidungsprozess verändern.

Da das Sammeln und Verarbeiten von Informationen im Hinblick auf eine Entscheidung ein zeitintensiver Prozess ist und praktisch alle Entscheidungen unter einer Art von Zeitdruck gefällt werden (Busemeyer und Townsend 1993), wurde im letzten grossen Block des Forschungskontextes darauf eingegangen, was Zeitdruck überhaupt ist und was er für einen Einfluss auf Entscheidungen im Allgemeinen und auf kartenbasierte Entscheidungen im Konkreten hat.

In der Forschung über Unsicherheitsvisualisierungen hat sich meines Wissens erst das Forscherteam um Cheong *et al.* (2016) des Zeitdruck-Themas angenommen und analysiert, wie Unsicherheitsvisualisierungen verwendet werden, wenn Entscheidungen unter Zeitdruck getroffen werden müssen. Über den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck ist folglich noch sehr wenig bekannt.

Die hier vorliegende Arbeit setzt an drei Forschungslücken an. So soll mit der Studie ein Beitrag geleistet werden zur Forschung über den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen, wobei aber nicht der Einfluss verschiedener Techniken thematisiert werden soll, weshalb mit einer einzigen Unsicherheitsvisualisierungstechnik gearbeitet wird. Des Weiteren sollen durch Einsatz der eher neuen *Eye Tracking*-Methode neue Erkenntnisse gewonnen werden über die Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsprozesse. Schliesslich soll die Studie den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck eingehender untersuchen.

3. Forschungsfragen

Basierend auf dem Forschungskontext und den aufgezeigten Forschungslücken, werden in diesem Kapitel drei Forschungsfragen formuliert. Generell ist das Ziel der Arbeit herauszufinden, ob und wie bei kartenbasierten Entscheidungen unter verschiedenen Bedingungen (ohne und unter Zeitdruck) Entscheidungsträger Unsicherheitsvisualisierungen berücksichtigen und was diese für einen Effekt auf die Entscheidungsprozesse sowie auf die Entscheidungen von Entscheidungsträgern haben. Um das Ziel zu erreichen, werden konkret folgende Forschungsfragen gestellt:

- 1) Haben Unsicherheitsvisualisierungen Effekte auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen, die entweder ohne oder unter Zeitdruck getroffen werden?
- 2) Haben Unsicherheitsvisualisierungen Effekte auf die Entscheidungsprozesse, die den Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck vorangehen?
- 3) Unterscheiden sich die Entscheidungsprozesse sowie Entscheidungen, die entweder ohne oder unter Zeitdruck getroffen wurden?

Um die Forschungsfrage 1 zu beantworten, werden die Ergebnisse von komplexen kartenbasierten Entscheidungen sowohl objektiv wie auch subjektiv beurteilt. Das bedeutet, dass sowohl die Korrektheit wie auch relative Veränderungen analysiert werden. Zusätzlich werden die Entscheidungszeiten sowie die Entscheidungssicherheiten aufgezeichnet. Die Hypothese ist, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl einen Einfluss auf kartenbasierte Entscheidungen ohne als auch unter Zeitdruck haben. Diese Hypothese stützt sich teilweise auf die im vorherigen Kapitel vorgestellten Forschungen. Es wurde bereits mehrmals gezeigt, dass Unsicherheitsvisualisierungen einen Einfluss auf kartenbasierte Entscheidungen ohne Zeitdruck haben (u.a. Andre und Cutler 1998, Leitner und Buttenfield 2000 oder Deitrick und Edsall 2006). Da es noch keine Forschung über Einflüsse von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck gibt, handelt es sich beim zweiten Teil der Hypothese um eine reine Annahme.

Wenn bei der Forschungsfrage 1 aufgezeigt werden kann, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl Effekte auf Entscheidungen, die ohne Zeitdruck gefällt werden, als auch auf diejenigen, die unter Zeitdruck fallen, haben, so sind diese Effekte womöglich auf Veränderungen in den Entscheidungsprozessen zurückzuführen. Die Hypothese der Forschungsfrage 2 ist daher, dass Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungsprozesse, die den Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck vorangehen, beeinflussen. Die Hypothese beruht darauf, dass in der Entscheidungsforschung gezeigt wurde, dass bei Entscheidungen unter Unsicherheiten Heuristiken angewendet werden, weshalb sich der Entscheidungsprozess verändert. Um eine Antwort auf die Forschungsfrage 2 zu finden und die Hypothese zu testen, wird die *Eye Tracking*-Methode angewendet. Dabei werden insbesondere die Zeiten und Häufigkeiten verglichen, mit denen verschiedene Regionen in den Karten betrachtet werden.

Da in der Entscheidungsforschung gezeigt wurde, dass sich Zeitdruck negativ wie auch positiv auf Entscheidungen auswirken kann, ist die Hypothese der Forschungsfrage 3, dass sich die Entscheidungen, die ohne Zeitdruck zustande kommen, von Entscheidungen unter Zeitdruck unterscheiden. Zusätzlich wurde aufgezeigt, dass unter Zeitdruck ganz bestimmte Entscheidungsstrategien angewendet werden, weshalb auch angenommen wird, dass sich die Entscheidungsprozesse unterscheiden. Um die Hypothese zu überprüfen, werden sowohl die Korrektheit der Entscheidungen, die Daten zur Entscheidungssicherheit sowie die *Eye Tracker*-Daten verwendet.

4. Methodik

Um die im vorherigen Kapitel vorgestellten Forschungsfragen zu beantworten, wird eine Studie am Geographischen Institut der Universität Zürich durchgeführt. In diesem Kapitel wird detailliert die Methodik dieser Studie beschrieben, wobei zunächst auf die Teilnehmer und die Strukturierung der Studie eingegangen wird und anschliessend auf die Online-Vorstudie sowie die einzelnen Teile der Hauptstudie.

4.1. Teilnehmer

Die Wahl der Teilnehmer spielt in einer empirischen Studie eine grosse Rolle, da deren Charakteristiken und persönlichen Hintergründe einen Einfluss darauf haben können, wie die gestellten Aufgaben gelöst werden (Wilkening 2012). Wie im Unterkapitel 2.8.6. erläutert, rekrutieren die meisten Forscher die Teilnehmer für ihre Studien über Unsicherheitsvisualisierungen innerhalb des universitären Kontextes. Die Teilnehmer sind daher meistens Studenten und bilden so eine eher homogene Gruppe (Kinkeldy *et al.* 2015a). Da dies von mehreren Forschern als Einschränkung betrachtet wird (u.a. von Keuper 2004 oder McKenzie *et al.* 2016) und von ihnen gefordert wird, in Zukunft vermehrt mit heterogenen Teilnehmergruppen zu arbeiten, werden für diese Studie die Teilnehmer sowohl innerhalb wie auch ausserhalb des universitären Kontextes rekrutiert. An die Teilnehmer werden keine Anforderungen bezüglich Alter, Ausbildung, Fachkompetenz etc. gestellt. Einzige Einschränkung im Rekrutierungsprozess ist, dass weder Kinder und noch Senioren als Teilnehmer angeworben werden. Diese sind aus dem möglichen Teilnehmerkreis ausgeschlossen, da bei ihnen nicht in jedem Fall damit gerechnet werden kann, dass sie den Umgang mit Computern gewohnt sind und somit die technischen Kenntnisse für die Teilnahme an der Studie aufweisen. Indem abgesehen von diesen Einschränkungen keine Anforderungen an die Teilnehmer gestellt werden, soll erreicht werden, dass die Teilnehmergruppe heterogen ist und ein möglichst gutes Abbild der gesamten Gesellschaft darstellt. Die Teilnehmer der Vorstudie sowie der Hauptstudie wurden am 17.04.2017 respektive am 05.05.2017 per E-Mail kontaktiert. Die versandten Einladungsmails sind in den Anhängen K und L ersichtlich.

4.2. Strukturierung und Durchführung der Studie

Die empirische Studie ist in mehrere Teile strukturiert (siehe Abb. 29). Sie besteht aus einer Online-Vorstudie sowie einer Hauptstudie, die als Laborstudie durchgeführt wird. Die Hauptstudie selber ist wiederum in drei Teile aufgeteilt. Der erste Teil besteht aus dem Pre-SSSQ, einem Teil des *Short State Stress Questionnaire* (kurz: SSSQ) nach Helton *et al.* (2004), einem Persönlichkeitsfragebogen, sowie dem Papierfalttest als Test der räumlichen Denkfähigkeit (nach Ekstrom *et al.* 1967). Der zweite Teil ist der Hauptteil innerhalb der Hauptstudie und besteht aus den kartenbasierten Entscheidungsaufgaben ohne und unter Zeitdruck. Der dritte und letzte Teil beinhaltet den Post-SSSQ, einen weiteren Teil des SSSQ nach Helton *et al.* (2004), und eine Nachbefragung über die gelösten Entscheidungsaufgaben.

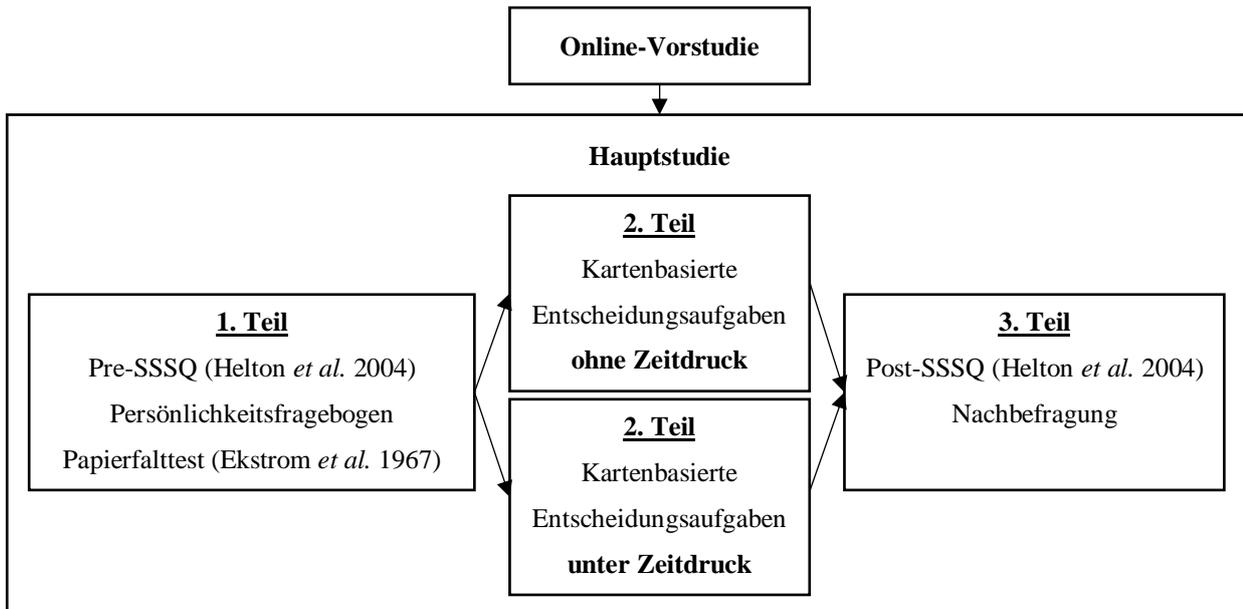


Abb. 29: Strukturierung der empirischen Studie.

Da die Resultate der Online-Vorstudie für die Vorbereitung der Hauptstudie benötigt wurden, wurde die Hauptstudie zeitlich versetzt zur Vorstudie durchgeführt. Die Online-Vorstudie war vom 17.04.2017 bis am 24.04.2017 aktiv geschaltet. Nach Erhalt des Einladungs-mails (siehe Anhang K) hatten die angeschriebenen Personen also eine Woche Zeit, an der Vorstudie teilzunehmen.

Die Hauptstudie wurde im *Eye Movement Lab* (kurz: EML) am Geographischen Institut der Universität Zürich durchgeführt. Der Durchführungszeitraum lag zwischen dem 08.05.2017 und dem 20.05.2017. Das EML ist ein Raum ohne Fenster, sodass jederzeit dieselben Lichtbedingungen herrschen. Das EML ist mit einem Computer sowie einem *Eye Tracker* ausgestattet, der aufgrund der Kalibrierung stets an der exakt gleichen Stelle positioniert ist (mehr zum *Eye Tracker* siehe Kapitel 4.6.6.). Zusätzlich dazu wurde im EML ein Laptop aufgestellt. Während der gesamten Durchführung war ich als Betreuungsperson anwesend.

4.3. Studiendesign

Um zu untersuchen, welchen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierten Entscheidungen, die entweder ohne oder unter *Zeitdruck* gefällt werden, haben, wird die empirische Hauptstudie im *between-subject*-Design durchgeführt. Das bedeutet, dass eine Gruppe von Teilnehmern im 2. Teil der Hauptstudie die Entscheidungsaufgaben ohne *Zeitdruck* (kurz: OZ, OZ-Gruppe) und eine zweite Gruppe von Teilnehmern die Entscheidungsaufgaben unter *Zeitdruck* (kurz: UZ, UZ-Gruppe) lösten (siehe Abb. 29) Dieses Design wird häufig angewendet, wenn Teilnehmer bestimmten Bedingungen ausgesetzt werden und die Effekte dieser Bedingungen nicht mehr rückgängig gemacht werden können (Martin 2004). Da *Zeitdruck* und *Stress* zu solchen Bedingungen gehören, kommt dieses Design zum Zuge. Grösster Nachteil des *between-subject*-Designs ist, dass die zwei Gruppen unterschiedlich bezüglich eines oder mehrerer spezifischer Merkmale sein könnten, was einen Einfluss auf die zu lösenden Aufgaben haben könnte, was wiederum die Ergebnisse verfälschen könnte (Martin 2004). Um diesem

Nachteil entgegenzuwirken, kann eine Abgleichung bei der Gruppeneinteilung durchgeführt werden (Martin 2004). Da vorgängig von jedem Teilnehmer nur Geschlecht und Alter bekannt sind, wird ein Abgleich bezüglich dieser zwei Merkmale durchgeführt. Bei der Einteilung in die zwei Gruppen wird also darauf geachtet, dass in beiden Gruppen etwa gleich viele Männer wie Frauen sowie etwa gleich viele Personen der gleichen Altersstufen (unter 20-jährige, 20- bis 30-jährige, über 30-jährige) vertreten sind. Abgesehen von diesem Abgleich geschieht die Einteilung in die Gruppen zufällig.

Um zu untersuchen, welchen Einfluss Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen haben, werden Karten ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen verwendet, wobei die Unsicherheitsvisualisierungstechnik konstant gehalten wird. Beide Gruppen bekommen sowohl Karten ohne Unsicherheitsvisualisierungen (kurz: OUV, OUV-Karten) als auch mit Unsicherheitsvisualisierungen (kurz: MUV, MUV-Karten) zu sehen und treffen daher kartenbasierte Entscheidungen ohne (kurz: OUV-Entscheidungen) und mit Unsicherheitsvisualisierungen (kurz: MUV-Entscheidungen). Die unabhängigen Variablen der empirischen Studie sind folglich Zeitdruck (ohne und unter) sowie die Unsicherheitsvisualisierungen (ohne und mit). Die Entscheidungen, die die Teilnehmer treffen, gelten als abhängige Variablen. Zusätzlich zu den unabhängigen und abhängigen Variablen existieren Kontrollvariablen, die während der ganzen Studie konstant gehalten werden (Martin 2004). Dazu gehören die Helligkeit im Raum, die Helligkeiten der Computer- und Laptopbildschirme und die Positionen innerhalb des Raumes, an denen die Teilnehmer die einzelnen Teile der Hauptstudie lösen. Nicht kontrollierbare Einflüsse sind die Tageszeit (die Studie wurde von morgens um 8.00 Uhr bis abends um 20.00 Uhr durchgeführt), die Verfassung der Teilnehmer sowie die Internetgeschwindigkeit (zwischen einzelnen Fragen kann aufgrund der Internetgeschwindigkeit teilweise eine Wartezeit entstehen).

4.4. Online-Vorstudie

Um die Hauptstudie vorbereiten zu können, wird vorab eine Online-Vorstudie durchgeführt. Diese hat hauptsächlich zwei Ziele. Wie es üblich ist bei Studien mit Zeitdruck, ist das erste Ziel der Vorstudie zu ermitteln, wie lange die Teilnehmer für die Aufgaben benötigen, um so ein Zeitlimit festlegen zu können (Ordóñez und Benson 1997, Wilkening 2012). Das zweite Ziel der Vorstudie ist, die besser geeignete von zwei verschiedenen Unsicherheitsvisualisierungsmethoden zu eruieren. Grund dafür ist, dass in der Studie die Methode konstant gehalten wird, aber andere Studien gezeigt haben, dass je nach verwendeter Methode signifikant unterschiedliche Entscheidungen getroffen werden (Hope und Hunter 2007a). Bei Verwendung von nur einer Unsicherheitsvisualisierungstechnik könnten daher die Ergebnisse der Hauptstudie verzerrt werden, wenn die Studienteilnehmer allenfalls die Unsicherheiten mit der verwendeten Methode nur ungenügend verstehen und interpretieren können. Durch die Vorstudie soll sichergestellt werden, dass in der Hauptstudie eine Unsicherheitsvisualisierungstechnik eingesetzt wird, die gut leserlich und verständlich ist.

Die Vorstudie wird online durchgeführt. Dazu wird das Umfragetool [Onlineumfragen.com](https://www.onlineumfragen.com)² verwendet. Am 17.04.2017 wurden die Einladungsmails (siehe Anhang K) versandt, von da an bis am 24.04.2017 war die Umfrage aktiv geschaltet.

Der Fragebogen der Online-Vorstudie ist im Anhang B einsehbar. Der Fragebogen besteht aus drei Teilen. Der erste Teil besteht aus einem Persönlichkeitsfragebogen, der zweite Teil beinhaltet die kartenbasierten Entscheidungsaufgaben und der dritte Teil besteht aus Abschlussfragen über das Szenario, die gelösten Aufgaben sowie über die zwei verwendeten Unsicherheitsvisualisierungsmethoden. Im zweiten Teil müssen die Teilnehmer insgesamt acht kartenbasierte Entscheidungsaufgaben lösen. In zwei dieser acht Karten sind keine Unsicherheiten dargestellt und in je drei Karten sind die Unsicherheiten mit je einer der zwei Methoden visualisiert.



Abb. 30: Die zwei in der Vorstudie verwendeten extrinsischen Unsicherheitsvisualisierungsmethoden. Links: schwarz-weiß gestrichelte Methode nach MacEachren *et al.* (1998), rechts: gepunktete Methode nach Retchless und Brewer (2016) und Brewer (2016).

Auf die Herstellung der Karten wird in Kapitel 4.6.3. detailliert eingegangen. Für die Vorstudie relevant, und daher werden sie hier diskutiert, sind hauptsächlich die zwei unterschiedlichen Unsicherheitsvisualisierungstechniken. Bei beiden verwendeten Techniken handelt es sich um extrinsische Methoden (siehe Kapitel 2.6.1.), da in dieser Studie die Unsicherheiten nur qualitativ kommuniziert werden und es Anzeichen gibt, dass extrinsische Methoden bei qualitativen Unsicherheitsinformationen besser geeignet sind (Kunz *et al.* 2011). Zudem wird von einigen Forschern empfohlen, extrinsische Methoden zu verwenden, wenn die primären Informationen von grosser Variabilität sind (Kinkeldey *et al.* 2013, 2014a), was bei den hier verwendeten primären Informationen meines Erachtens der Fall ist. Bei der ersten Methode handelt es sich um die in Kapitel 2.6.1. vorgestellte schwarz-weiß gestrichelte Unsicherheitsvisualisierung nach MacEachren *et al.* (1998) (siehe Abb. 16). Diese Methode soll besonders geeignet sein, wenn die primären Daten mit einer divergierenden Farbskala visualisiert werden (Brewer

² <https://www.onlineumfragen.com/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

2016), was hier der Fall ist. Links in Abb. 30 ist ein Kartenausschnitt zu sehen, in dem diese Methode angewendet wird. Bei der zweiten Visualisierungstechnik handelt es sich um eine Punkttextur, die beispielsweise von Retchless und Brewer (2106) angewendet wurde (siehe Abb. 17: Mitte). Während Retchless und Brewer (2016) die Anordnung sowie die Farbe der Punkte variierten, sind die Punkte in den Karten, die für die Studie hergestellt werden, stets schwarz und in der gleichen Anordnung. Rechts in Abb. 30 ist ein Kartenausschnitt zu sehen, in dem diese zweite Methode angewendet wird.

4.5. Erster Teil der Hauptstudie

Der erste Teil der Hauptstudie besteht aus dem Pre-SSSQ (nach Helton *et al.* 2004), einem Persönlichkeitsfragebogen sowie aus dem Papierfalttest als Test zum räumlichen Denkvermögen (nach Ekstrom *et al.* 1976). Die ersten zwei Fragebogen werden mithilfe des Umfragetools Onlineumfragen.com³ durchgeführt und der Papierfalttest wird auf Papier gelöst. In den folgenden drei Unterkapiteln wird jeder dieser Fragebogen bzw. Tests vorgestellt.

4.5.1. Pre - *Short State Stress Questionnaire*

Da ein auferlegtes Zeitlimit nicht bedeutet, dass eine Person automatisch unter Zeitdruck steht und sich gestresst fühlt (siehe Kapitel 2.9.1.), braucht es ein Mass, um zu quantifizieren, inwiefern das in dieser Studie verwendete Zeitlimit die Teilnehmer der UZ-Gruppe unter Zeitdruck versetzt. Eine Möglichkeit wäre die Messung der Hautleitfähigkeit (mittels Elektroden), da diese ein Mass für emotionale Erregung ist und deutlich auf externe Stimuli wie Stressoren reagiert (Figner und Murphy 2011). Da die Auswertung der durch diese Methode gewonnen Daten jedoch relativ aufwendig ist und dies die Möglichkeiten dieser Arbeit übersteigt, soll mithilfe eines standardisierten Fragebogens ermittelt werden, ob und inwiefern sich die Teilnehmer der UZ-Gruppe während des Lösens der Aufgaben gestresst fühlten.

Der hier eingesetzte Fragebogen ist der bereits einige Male kurz erwähnte *Short State Stress Questionnaire* (kurz: SSSQ) von Helton (2004). Der SSSQ misst anhand von 24 Fragen das aktuelle emotionale Empfinden der Teilnehmer, wobei er im Gegensatz zur Messung der Hautleitfähigkeit auf der Selbsteinschätzung der Teilnehmer beruht. Die 24 Fragen beschreiben zusammen drei Dimensionen von subjektivem Stressempfinden, wobei jede Frage einer einzelnen Dimension zugewiesen ist. Bei den drei Dimensionen (auch Faktoren genannt) handelt es sich um: (1) *Task Engagement*, (2) *Distress* und (3) *Worry*. Der Faktor *Task Engagement* beschreibt Empfindungen, die in Relation stehen zum Engagement, das für eine Aufgabe aufgebracht wird. Dazu gehören u.a. die Empfindungen Motivation und Konzentration. Ein hoher Wert in diesem Faktor entspricht einer hohen Bereitschaft, sich für eine Sache zu engagieren. Der Faktor *Distress* umfasst unangenehme Gefühle wie Anspannung oder fehlendes Selbstvertrauen. *Worry* ist ein kognitiver Faktor, der sich hauptsächlich aus der Selbstaufmerksamkeit, dem Selbstwertgefühl, sowie der kognitiver Interferenz zusammensetzt (Helton 2004).

Um eine Veränderung im emotionalen Empfinden mithilfe des SSSQ feststellen zu können, muss derselbe Fragebogen vor und nach einer bestimmten Aufgabe ausgefüllt werden, weshalb vom Pre-

³ <https://www.onlineumfragen.com/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

SSSQ und Post-SSSQ gesprochen wird. In Studien konnte gezeigt werden, dass der SSSQ empfindlich auf unterschiedlichste Stressoren in verschiedenen Aufgaben reagiert (Helton 2004, Helton und Näswall 2015).

Der gesamte SSSQ-Fragebogen mit den 24 Fragen ist im Anhang D aufgeführt. Jede Frage wird mithilfe einer 5-teiligen Likert-Skala beantwortet, wobei 1 «trifft gar nicht zu» und 5 «trifft voll zu» bedeutet. Aufgrund eines Fehlers bei der Übertragung des Fragebogens in das verwendete Umfragetool beantworteten alle Teilnehmer nur 23 der 24 Fragen. Bei der fehlenden Frage handelt es sich um die Frage 12 (zugehörig zum Faktor *Task Engagement*).

4.5.2. Persönlichkeitsfragebogen

Im Persönlichkeitsfragebogen werden den Teilnehmern Fragen zum Geschlecht, dem Alter, Schwächen und Ausbildungshintergrund gestellt. Darüber hinaus werden sie gebeten anzugeben, wie häufig sie Freizeitaktivitäten nachgehen, die den Gebrauch von Karten erfordern, und wie viel Erfahrung sie in einigen möglicherweise relevanten Bereichen haben. Ziel dieses Fragebogens ist, einige allgemeine Hintergrundinformationen über die Teilnehmer zu erhalten, um sich so ein generelles Bild von ihnen machen zu können und um zu vergleichen, ob sich die Teilnehmer der OZ- und der UZ-Gruppe insgesamt ähneln (was zu erhoffen ist) oder ob sie unterschiedlich sind (was nicht zu erhoffen ist) (Martin 2004).

4.5.3. Papierfalttest

Die räumliche Denkfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit, räumliche Informationen zu prozessieren und sich mental vorzustellen, wobei sie deutlich von der generellen Intelligenz oder Denkfähigkeit zu unterscheiden ist (Hegarty und Waller 2005). Da die Teilnehmer in den Entscheidungsaufgaben räumliche Informationen verarbeiten müssen, könnte die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten haben. Aus diesem Grund wird ein räumlicher Denkfähigkeitstest durchgeführt, mithilfe dessen die räumliche Denkfähigkeit der Teilnehmer quantifiziert werden kann.

In diesem Fall wird der Papierfalttest von Ekstrom *et al.* (1976) verwendet. Bei diesem Test geht es darum, sich vorzustellen, wie ein quadratisches Stück Papier aussehen muss, nachdem es mehrmals gefaltet, anschliessend durchstochen und wieder aufgefaltet wurde. Beim Lösen der Aufgaben des Tests muss mental eine 3D- zu 2D-Transformation durchgeführt werden. Das ursprüngliche Bild ist dreidimensional, da es aus mehreren Lagen von Papier besteht, während das Lösungsbild zweidimensional ist, da es sich um ein flaches Stück Papier handelt (Roullier 2013). In den Entscheidungsaufgaben wird eine dreidimensionale Geländeoberfläche zweidimensional dargestellt, die Teilnehmer müssen also mental ebenfalls eine dimensionsübergreifende Transformation durchführen, weshalb dieser Test ausgewählt wird. Die Instruktion zum Test ist in Anhang F zu lesen. Da der Originaltest in Englisch ist, handelt es sich bei der Instruktion um eine eigene Übersetzung. Insgesamt besteht der Test aus zwanzig Aufgaben, je zehn pro Seite. Pro Seite haben die Teilnehmer maximal zwei Minuten Zeit, um die Aufgaben zu lösen. In Abb. 31 ist eine Aufgabe aus dem Test als Beispiel abgebildet.

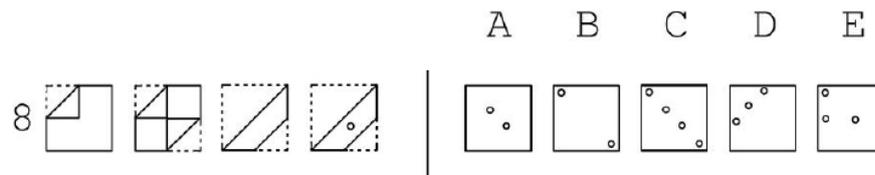


Abb. 31: Aufgabe 8 aus dem Papierfalttest. Die Lösung ist C.

4.5.4. Ablauf des ersten Teils der Hauptstudie

Die Teilnehmer trafen zur vereinbarten Zeit entweder direkt beim Labor ein oder wurden von der Betreuungsperson an einem vereinbarten Ort abgeholt und zum Labor geführt. Im Labor nahmen sie am vorbereiteten Schreibtisch Platz. Nach einer kurzen Erklärung des gesamten Ablaufs bekamen sie ein Einwilligungsf formular (siehe Anhang C) zum Durchlesen und Unterschreiben. Anschliessend begaben sie nach links zum Laptop, um mit dem Pre-SSSQ zu beginnen. Nach Abschluss des Pre-SSSQ konnten die Teilnehmer im Umfragetool selbständig auf «weiter» klicken und so nach einer Überleitung mit dem Persönlichkeitsfragebogen beginnen. Nach Abschluss des Persönlichkeitsfragebogens meldeten sich die Teilnehmer bei der Betreuungsperson, worauf sie gebeten wurden, sich wieder an den freien Platz nach rechts zu begeben, um die Instruktion des Papierfalttests zu lesen. Bevor sie mit dem Test begannen, hatten sie noch die Möglichkeit, Fragen zu stellen, während des Tests jedoch nicht mehr. Nach dem Lösen des Papierfalttests wurde den Teilnehmern mitgeteilt, dass der erste Teil beendet ist und mit dem zweiten Teil fortgefahren wird.

4.6. Zweiter Teil der Hauptstudie

Im zweiten Teil der Hauptstudie lösen die Teilnehmer die kartenbasierten Entscheidungsaufgaben. Im Folgenden wird auf die Struktur des zweiten Teils, auf das Szenario für die Entscheidungsaufgaben und auf die Herstellung der Karten eingegangen. Ausserdem wird die Methodik zur Festlegung des Zeitlimits erläutert.

4.6.1. Struktur des zweiten Teils der Hauptstudie

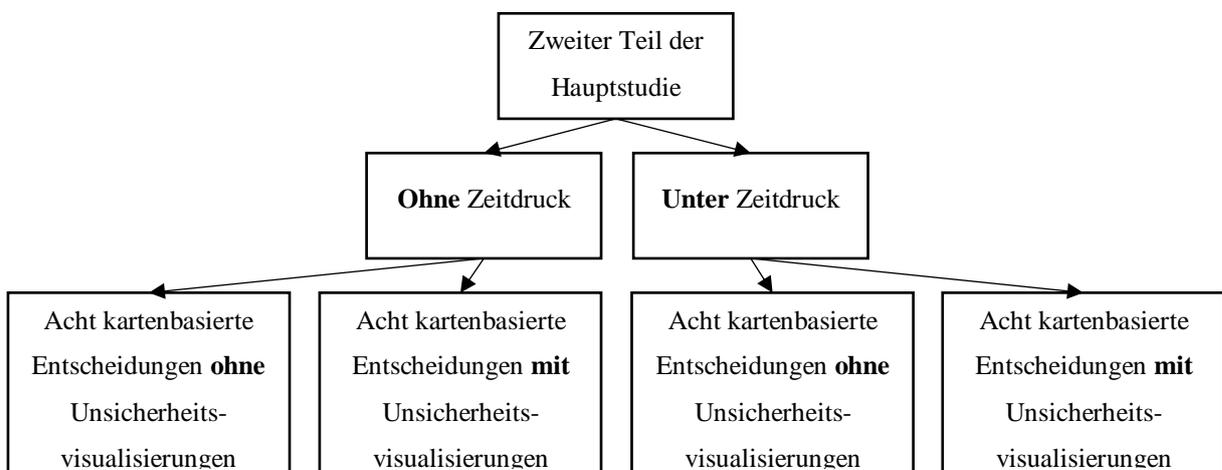


Abb. 32: Struktur des zweiten Teils der Hauptstudie

Da es sich um ein *between-subject*-Design handelt, unterscheidet sich der zweite Teil der Hauptstudie teilweise für die zwei Teilnehmergruppen. Während die Teilnehmer der OZ-Gruppe alle Entscheidungsaufgaben ohne Zeitdruck lösen, lösen die Teilnehmer der UZ-Gruppe alle Entscheidungen unter Zeitdruck. Beide Gruppen lösen insgesamt 16 kartenbasierte Entscheidungsaufgaben. Davon sind in acht Karten keine Unsicherheiten visualisiert und in weiteren acht Karten sind Unsicherheitsvisualisierungen vorhanden, wie dies in Abb. 32 graphisch dargestellt ist. Damit die Resultate beider Gruppen verglichen werden können, bekommen beide Gruppen die exakt gleichen 16 Karten zu sehen.

4.6.2. Szenario für die Entscheidungsaufgaben

Viele Effekt-Studien basieren auf eher einfachen Aufgaben, bei denen die Entscheidung lediglich darin besteht, eine von zwei oder mehreren möglichen Regionen mithilfe eines Kriteriums auszuwählen (Kinkeldey *et al.* 2015a). Da nun vermehrt gefordert wird, dass sich neue Studien mit komplexeren Entscheidungsaufgaben befassen, bei denen komplexere kognitive Prozesse involviert sind (Smith *et al.* 2013, Kinkeldey *et al.* 2015a), sollen die Teilnehmer in dieser Studie eine multikriterielle Entscheidung treffen. Bei einer multikriteriellen Entscheidung müssen mehrere Faktoren gleichzeitig beachtet und teilweise gegeneinander abgewogen werden, sodass die kognitive Belastung grösser ist und es sich daher um eine komplexere Entscheidung handelt (Kübler 2016).

Digitale Höhenmodelle gehören zu den meist verwendeten digitalen räumlichen Datensätzen (Fisher und Tate 2006) und wie in Kapitel 2.4. diskutiert, ist die Forschung über Unsicherheiten in DHMs und deren Berechnung schon weit fortgeschritten ist (Hunter und Goodchild 1997, Fisher und Tate 2006). Zudem wurde auch schon mehrfach darüber geforscht, mit welchen Techniken Unsicherheiten in DHMs visuell dargestellt werden können (u.a. Ehlschlaeger *et al.* 1997) und wie mit Unsicherheiten in DHMs generell umgegangen wird (u.a. Wechsler 2003). Aus diesen Gründen basiert das Szenario für die Entscheidungsaufgaben auf einem DHM und den darin enthaltenen Unsicherheiten.

Das verwendete Szenario für die Entscheidungsaufgaben ist ein «Helikopter-Szenario». Es ist ähnlich wie dasjenige, das Wilkening (2012) in seinem Experiment III angewendet hat. Während einige Elemente aus Wilkenings (2012) Szenario übernommen werden, unterscheidet es sich hauptsächlich von diesem, indem nicht nur ein Kriterium (die Hangneigung), sondern mehrere Kriterien für die Entscheidung berücksichtigt werden müssen. Konkret geht es darum, dass sich die Teilnehmer vorstellen, sie seien Helikopterpiloten/Helikopterpilotinnen bei der Rega⁴ (Schweizerische Rettungsflugwacht). Mithilfe einer Karte sollen sie sich entscheiden, auf welcher von sechs eingezeichneten Landstellen sie landen möchten, um eine Person in Notlage zu retten, deren Position ebenfalls in der Karte vermerkt ist. Dabei gilt es einige Regeln zu beachten, denn Aussenlandungen (Definition: Landungen von Luftfahrzeugen ausserhalb von Flugplätzen, AuLaV 2014), sind nur unter bestimmten Bedingungen möglich, die im Folgenden beschrieben werden. Die Szenario-Beschreibung, die die Teilnehmer in der Einleitung zu den Entscheidungsaufgaben zu lesen bekamen, befindet sich im Anhang G.

⁴ <http://www.rega.ch/de/home.aspx> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

Damit mit einem Helikopter eine Aussenlandung durchgeführt werden kann, darf das Gelände nicht zu steil sein. Als maximale Hangneigung werden einerseits 7° (US Army 2002) oder 8° (Wilkening 2012) genannt, andererseits kann unter bestimmten Bedingungen auch bis 15° (US Army 2002, US Army 2005) gelandet werden. In der Studie gelten Hangneigungen von $0-10^\circ$ als ideal und von $10.1-15^\circ$ als o.k.

Weitere wichtige Bedingung ist, dass sich keine Hindernisse wie Hochspannungsleitungen in unmittelbarer Nähe zum Landeplatz befinden. Eine sichere Landung verlangt mindestens 50m Abstand zu Stromleitungen (Stahelin 2016). Da 50m auf der Karte mit blossen Auge schwer abzuschätzen wären bei einem Massstab von 1:12'0000, wird den Teilnehmern als Bedingung angegeben, dass der Abstand zu Luftfahrthindernissen (wie Hochspannungsleitungen) mindestens 100m betragen muss. Um einen zusätzlichen Faktor einzubauen, muss der Abstand zu Skiliften, bei denen es grössere Menschenansammlungen geben könnte, mindestens 200m betragen. Falls mehrere Landstellen für eine Aussenlandung tauglich sind, ist die letzte Bedingung, dass diejenige gewählt werden soll, die sich am nächsten zur Person in Notlage befindet.

Da die Teilnehmer kein intuitives Verständnis von Unsicherheiten haben sollen wie in vielen anderen Studien (u.a. derjenigen von Kübler 2016 oder McKenzie *et al.* 2016), sondern Entscheidungen treffen sollen mit einem Wissen darüber, wie Unsicherheiten entstehen und was für Auswirkungen sie haben können, lesen die Teilnehmer wie in der Effekt-Studie von Scholz und Lu (2014) in der Einleitung zu den Entscheidungsaufgaben eine Beschreibung über das Konzept von Unsicherheiten in DHMs (siehe Anhang H). So kann auch sichergestellt werden, dass alle unabhängig von ihrer Fachkompetenz das gleiche Wissen über Unsicherheiten haben. Darüber hinaus wird die Unsicherheit in der Legende der Karte vermerkt. Die Legende wird ähnlich dargestellt wie die Legenden von MacEachren *et al.* (1998) und Brewer (2016).

4.6.3. Herstellung der Karten

Die Karten werden basierend auf vier räumlichen Datensätzen in einem mehrstufigen Prozess hergestellt. Der gesamte Prozess ist in Abb. 33 graphisch dargestellt und wird im Folgenden schrittweise erläutert. Die meisten Arbeitsschritte werden mithilfe der Software ArcMap 10.4.1 der Firma ESRI durchgeführt, mit Ausnahme der Unsicherheitsberechnungen, die mit einem eigens in Java geschriebenen Code erfolgen. Für die graphische Überarbeitung und Fertigstellung der Karten wird das Programm Illustrator CS6 der Firma Adobe verwendet.

Bei den vier verwendeten räumlichen Datensätzen handelt es sich um das digitale Höhenmodell (kurz: DHM25) von swisstopo (Stand 2000), die digitale Luftfahrthinderniskarte (kurz: WeGOM) vom Bundesamt für Zivilluftfahrt (kurz: BAZL, Stand 30.01.2017), VECTOR25 von swisstopo (Stand 2008) und SwissBOUNDARIES3D ebenfalls von swisstopo (Stand 2015).

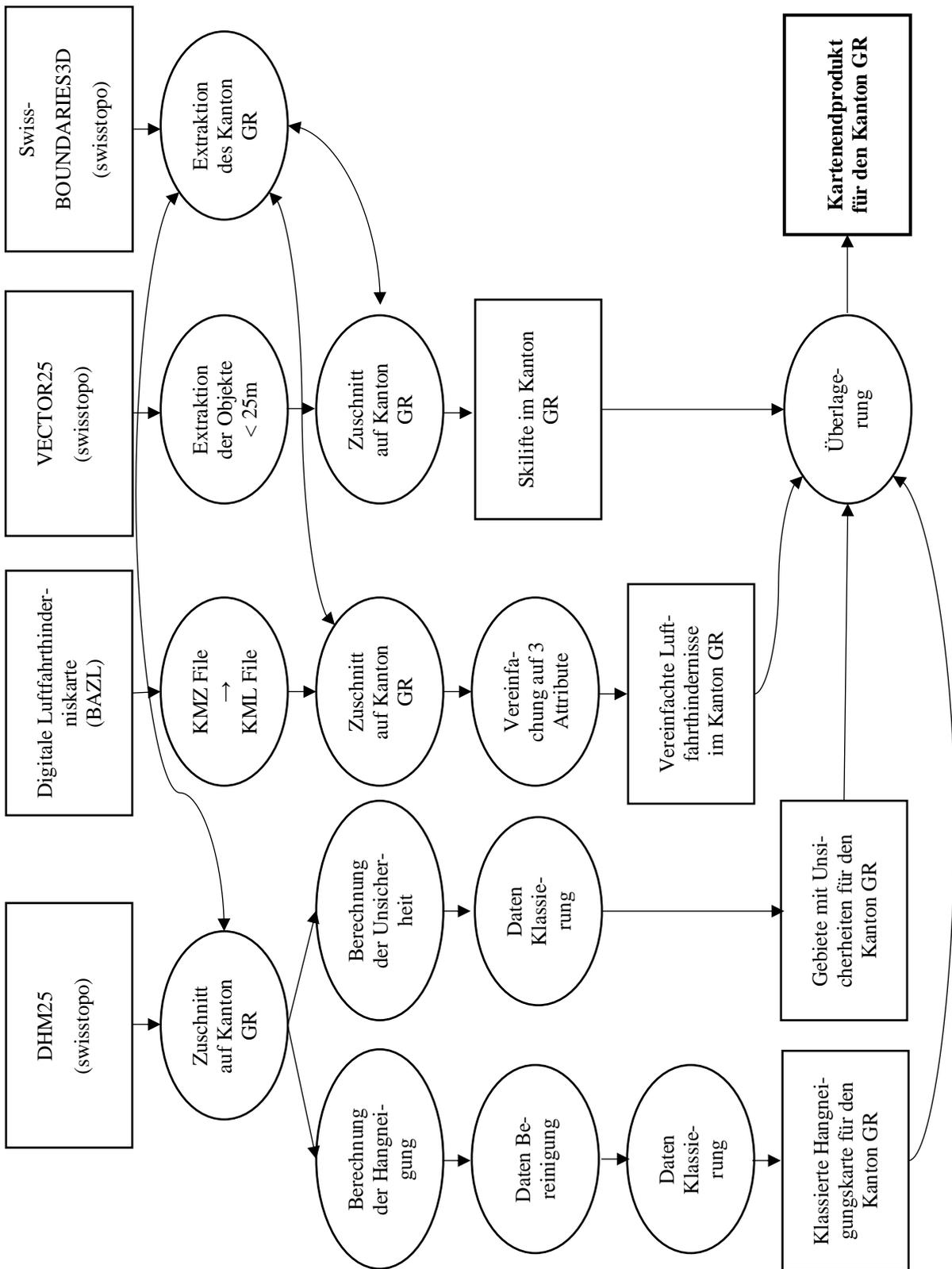


Abb. 33: Gesamter Prozess zur Herstellung der Karten. Rechtecke: Daten- / Kartenprodukte, Ellipsen: Arbeitsschritte.

SwissBOUNDARIES3D

Da die mittlere Abweichung des DHM25 in den Alpen am grössten ist (swisstopo 2005), stammen alle Kartenausschnitte aus dem Kanton Graubünden (kurz: GR). Um die schweizweiten Datensätze auf den Kanton GR zuzuschneiden, wird die Kantonsgrenze des Kantons GR aus dem Datensatz SwissBOUNDARIES3D extrahiert und für das Zuschneiden der Datensätze verwendet.

DHM25

Das DHM25 beschreibt die dreidimensionale Form der Erdoberfläche der Schweiz und wurde aus den Höheninformationen der Landeskarte 1:25'000 abgeleitet. Das DHM25 liegt als Basis- und als Matrixmodell vor. Beim Basismodell handelt es sich um die digitalisierten Höhenkurven und -knoten. Das Matrixmodell wurde durch Interpolation davon abgeleitet und ist ein Höhenmodell mit einer regelmässigen Gitteranordnung von 25m Maschenweite. Die Qualitätsstufe des DHM25 wird mit Levels beschrieben. Auf Level 1 betragen die mittleren Abweichungen vom Modell zu Kontrollpunkten zwischen 1.5m im Mittelland, über 2m in den Voralpen und im Tessin in den Alpen bis zu 3m. In den Alpen kann die tatsächliche Abweichung jedoch bis zu 8m betragen (swisstopo 2005).

Nach dem Zuschneiden auf den Kanton GR werden die Hangneigungen und die Unsicherheiten berechnet. Die Hangneigungen werden mit der Methode der finiten Differenzen (Horn 1981) in Grad berechnet. Da in der daraus resultierenden Hangneigungskarte ein deutlicher Treppeneffekt sichtbar ist und es sich daher nicht um ein harmonisches Kartenbild handelt, wird die Hangneigungskarte nach dem Vorgehen von Streit (2013) bereinigt. Bei diesem Vorgehen wird zuerst ein 3x3-Mittelwerts-Filter (ein Tiefpass-Filter) angewendet, um einzelne extreme Pixel zu eliminieren und so das Kartenbild zu glätten (Burrough *et al.* 2015). Anschliessend wird das 25x25m Hangneigungsraaster mit der Resampling-Methode *Nearest Neighbour* auf ein Raster von 5x5m heruntergerechnet. Auf dieses feiner gegliederte Raster wird wiederum ein Mittelwerts-Filter angewendet, jedoch mit einer 5x5 Nachbarschaft, was der ursprünglichen Dimension der Rasterzelle entspricht. Durch diese Bereinigung konnte der sichtbare Treppeneffekt verringert bzw. eliminiert werden, sodass das Kartenbild harmonischer ist, was der Vorher-nachher-Vergleich in Abb. 34 klar veranschaulicht. Anschliessend an die Bereinigung werden die Hangneigungswerte in sechs Klassen eingeteilt: (1) 0.0-10.0°, (2) 10.1-15.0°, (3), 15.1-20.0°, (4) 20.1-35.0°, (5) 35.1-50.0° und (6) >50.1°. Um die Entscheidung etwas zu vereinfachen, wird eine divergierende Farbskala verwendet. Die ersten zwei Klassen, die für Helikopterlandungen geeignet sind, werden mit Grüntönen und die restlichen vier Klassen, die für Landungen ungeeignet sind, mit Violetttönen eingefärbt. Die Farbskala und die konkreten Farbtöne wurden mithilfe von ColorBrewer 2.0⁵ ausgewählt.

⁵ <http://colorbrewer2.org/#type=diverging&scheme=PRGn&n=3> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

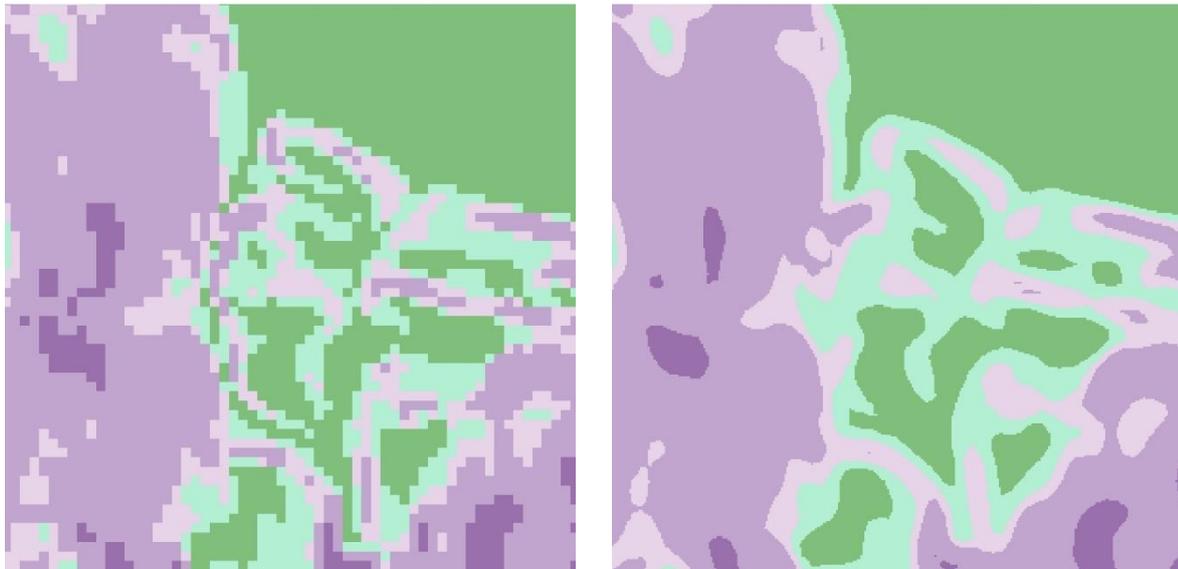


Abb. 34: Vorher-nachher-Vergleich der Bereinigung der Hangneigungskarte zur Verminderung/Eliminierung des Treppeneffekts. Links: vor der Bereinigung, rechts: nach der Bereinigung. Für den besseren Vergleich ist die Hangneigung in dieser Abb. bereits klassiert, die Bereinigung wurde aber bei den nichtklassierten Hangneigungsdaten durchgeführt.

Wie in Kapitel 2.4. erläutert, gibt es unzählige Methoden mit variierender Komplexität zur Berechnung von Unsicherheiten in DHMs. Da von swisstopo lediglich die mittlere Abweichung des DHM25 kommuniziert wird, werden die Unsicherheiten mithilfe von Monte Carlo Simulationen berechnet, da für diese Methode lediglich der RMSE bekannt sein muss. Der theoretische Hintergrund von Monte-Carlo-Simulationen zur Hangneigungsberechnung ist in Kapitel 2.4. bereits erklärt. Die Berechnung der Hangneigung sowie die anschliessende Monte-Carlo-Simulation wurde durch einen von Prof. Dr. Ross Purves geschriebenen Code ausgeführt. Eingabeparameter für die Berechnung der Unsicherheit mithilfe dieses Codes sind das DHM (in diesem Fall das DHM25 zugeschnitten auf den Kanton GR) im ASCII-Format, die Anzahl Simulationen sowie die Abweichung (Unsicherheit) des Eingabe-DHMs in Meter. Auf Level 1 beträgt die mittlere Abweichung des DHM25 für die Alpen 3m. Bei der Genauigkeitsschätzung des DHM25 auf Level 2 ist jedoch ersichtlich, dass für die Mehrheit der Regionen im Kanton GR die mittlere Abweichung 4-6m beträgt (swisstopo 2005). Für die Eingabe wurde daher der mittlere Wert von 5m verwendet. Für die Anzahl Iterationen wurde der Wert 1000 gewählt. Ausgabe ist nebst der Hangneigungskarte eine Standardabweichungskarte. Diese zeigt, wie gross die Abweichung in Grad von der Hangneigungskarte ist, also wie gross die Unsicherheiten der Hangneigungskarte sind. Links in Abb. 35 ist ein Ausschnitt dieser Karte ersichtlich (es handelt sich um den exakt gleichen Ausschnitt wie in Abb. 34). Da in der endgültigen Karte das Nichtvorhandensein bzw. Vorhandensein von Unsicherheiten nur qualitativ visualisiert wird und nicht quantitativ die Grösse der Unsicherheit dargestellt wird, wird die Standardabweichungskarte in zwei Klassen umklassiert (siehe Abb. 35 rechts), wobei alle Gebiete mit einer grossen Abweichung von mehr als 5° als unsichere Gebiete klassiert und als solche schliesslich in den endgültigen Karten visualisiert werden. Alle Gebiete mit geringerer Abweichung gelten als Gebiete ohne Unsicherheiten. Für die Visualisierung der Gebiete mit Unsicherheiten wird basierend auf

den Erkenntnissen der Vorstudie (siehe Kapitel 5.1.2. und 5.1.3.) die Unsicherheitsvisualisierungstechnik mittels schwarzer Punktung von Retchless und Brewer (2016) angewendet, da diese besser geeignet ist als die Methode der schwarz-weissen Schraffierung von MacEachren *et al.* (1998).

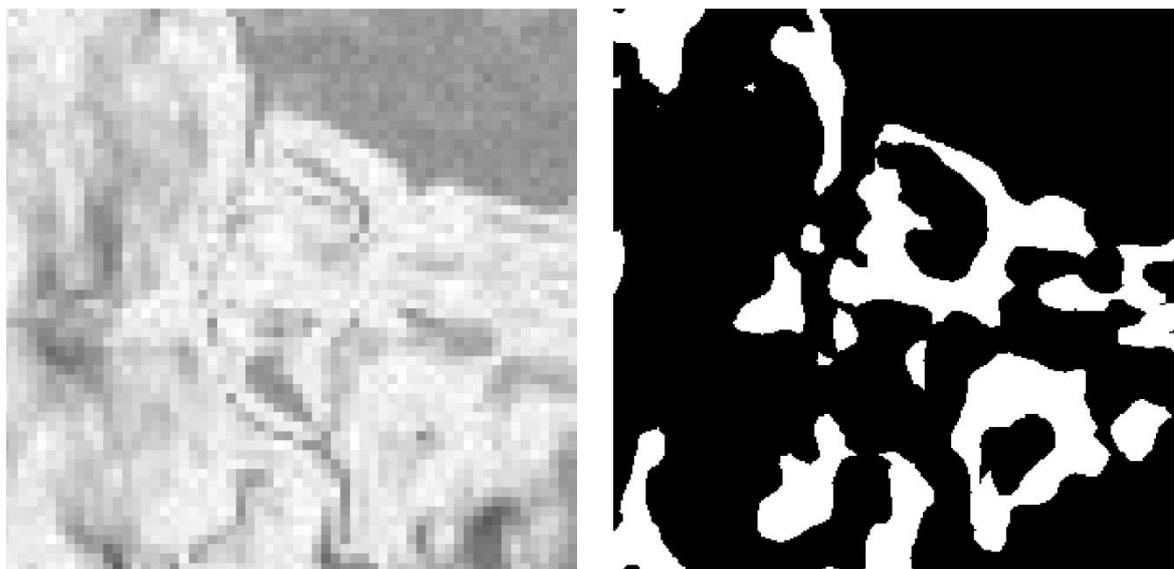


Abb. 35: Links: Standardabweichungskarte als Ausgabe der Monte-Carlo-Simulation. Die Werte reichen von 0° (schwarz) bis 5.65° (weiss). Rechts: umklassierte Standardabweichungskarte. Schwarz = Gebiete ohne Unsicherheit, weiss = Gebiete mit Unsicherheit.

WeGOM

Die WeGOM kann von der Website des BAZLs⁶ als KMZ-File heruntergeladen werden und so beispielsweise direkt in Luftfahrtnavigationssysteme integriert werden. Die WeGOM wird zweimal wöchentlich aktualisiert und zeigt so stets alle aktuellen Luftfahrthindernisse. In überbauten Zonen sind Luftfahrthindernisse Analgen und Bepflanzungen, die höher als 60m sind. Ausserhalb dieser Zonen sind es Objekte, die höher als 25m sind. Der Datensatz besteht aus je sieben verschiedenen punkt- und linienförmigen Luftfahrthindernissen (BAZL). Um den Datensatz in ArcMap bearbeiten zu können, muss dieser vorgängig in ein KML-File umgewandelt werden. Erster Bearbeitungsschritt ist anschliessend das Zuschneiden auf den Kanton GR. Da für die Entscheidungsaufgabe irrelevant ist, um was für ein punkt- oder linienförmiges Luftfahrthindernis es sich genau handelt, wird der Datensatz nach dem Zuschneiden vereinfacht, indem die sieben verschiedenen punktförmigen Hindernisse zu einem einzigen vereint werden, das in der Karte als «Einzel- / Gruppenhindernis» bezeichnet wird. Sechs der sieben verschiedenen linienförmigen Hindernisse werden zu einem linienförmigen Hindernis vereint, das «Seilbahn, Kabel» genannt wird. Direkt übernommen wird das linienförmige Hindernis «Hochspannungsfreileitung». In der endgültigen Karte sind folglich drei verschieden gekennzeichnete Luftfahrthindernisse zu sehen.

⁶ <https://www.bazl.admin.ch/wegom> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

VECTOR25

VECTOR25 basiert inhaltlich und geometrisch auf der Landeskarte 1:25'000 und enthält als digitales Landschaftsmodell der Schweiz alle natürlichen und künstlichen Objekte der Landschaft. Die Lagegenauigkeit der Objekte beträgt 3-8m. VECTOR25 besteht aus neun thematischen Ebenen. Das für die Entscheidungsaufgaben relevante Element gehört der Ebene «Übriger Verkehr» an, welche die Daten der Autofahren, Luftseilbahnen, Materialbahnen, Personenfähren und Skilifte enthält (swisstopo 2007). Da Material- und Luftseilbahnen in der Regel höher als 25m, und somit bereits in der WeGOM vorhanden sind, werden vom VECTOR25 lediglich die Daten über die Skilifte verwendet. Der Datensatz über die Skilifte bedarf keiner Modifikation abgesehen vom Zuschneiden auf den Kanton GR.

Zusammenfügen aller Kartenelemente und Fertigstellung der endgültigen Karten

Anschliessend an die Herstellung der einzelnen Layer werden diese durch Überlagerung zu einer einzigen Karte zusammengefügt, wobei die Hangneigungskarte zusammen mit der Unsicherheit (falls visualisiert) die Basiskarte darstellt und die restlichen Elemente darüber gelegt werden. Angezeigt werden die WeGOM und/oder andere Navigationskarten in einem Helikopter häufig auf einem rechteckigen Bildschirm mit der längeren Seite als Hochkante und der kürzeren als Querkante (mündliche Information von Serge Guex, Inhaber einer Privatpilotenlizenz, 26.03.2017). Aufgrund der Dimensionen des Computerbildschirms werden die Kartenausschnitte jedoch quadratisch dargestellt. Alle Ausschnitte werden im Massstab 1:12'000 dargestellt in einem Quadrat von 12.55x12.55cm, was in der Realität folglich 1506x1506m oder 2.27km² entspricht. Ein Beispiel einer endgültigen Karte mit allen Layer und Unsicherheitsvisualisierungen ist in der untenstehenden Abb. 36 zu sehen.

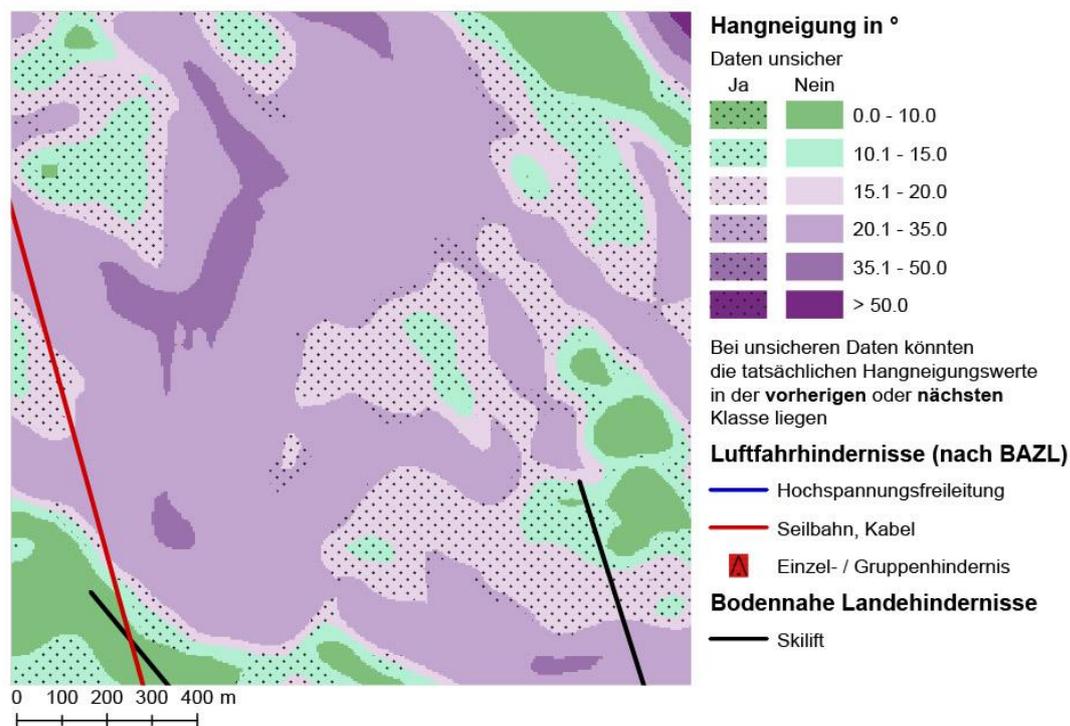


Abb. 36: Beispiel einer endgültigen Karte mit allen Layer und Unsicherheitsvisualisierungen. Die Karte ist nicht in der Originalgrösse, sondern etwas verkleinert abgedruckt (Region: Flims).

Auswahl der Regionen für die Kartenausschnitte

Für das Einfügen der Elemente für die Entscheidungsaufgaben (Landstellen und Person in Notlage) in die Karte wurden insgesamt neun Regionen aus dem Kanton GR ausgewählt (eine für die Beispielaufgabe sowie acht für die Entscheidungsaufgaben). Auswahlkriterien sind das Vorhandensein von mindestens einem Luftfahrthindernis, einem Skilift sowie diverse passende und unpassende Hangneigungen. In Tabelle 4 sind alle ausgewählten Regionen mit dem Namen der nächstgelegenen Ortschaft sowie den Koordinaten des Punktes, der pro Region in der Mitte des Kartenausschnittes liegt, aufgelistet. Die Lage der einzelnen Regionen innerhalb des Kantons GR ist zudem in Abb. 37 ersichtlich. Wie die zusätzlichen Elemente genau angesiedelt werden, wird im folgenden Unterkapitel erklärt.

Tabelle 4: Liste der verwendeten Ortschaften für die Herstellung der Karten und die dazugehörigen Kartenmittelpunkte.

Region	Koordinate des Kartenmittelpunktes (CH1903/LV03)
Arosa	769997.05 / 184005.01
Bergün	776965.42 / 166812.70
Bivio	770253.60 / 148077.80
Churwalden	760889.68 / 182866.67
Flims	735484.36 / 192789.61
Klosters	786375.32 / 192789.61
San Bernadino	732882.69 / 146416.00
Serneus	785569.47 / 199276.65
Tschiertschen	765261.00 / 187276.09



Abb. 37: Lage der ausgewählten Ortschaften für die Entscheidungsaufgaben innerhalb des Kantons GR.

4.6.4. Erarbeiten verschiedener Aufgabenvarianten und Ansiedeln der Landstellenelemente

Letzter Schritt bei der Herstellung der Karten für die Entscheidungsaufgaben ist das Ansiedeln der sechs Landstellen sowie der Person in Notlage in den neun ausgewählten Kartenausschnitten. Um die Landstellen und die Person in Notlage positionieren zu können, wird zuerst ein Schema mit verschiedenen Aufgabenvarianten erarbeitet.

Erarbeiten eines Schemas mit verschiedenen Aufgabenvarianten

Wie der Erläuterung des Szenarios im Kapitel 4.6.2. oder der Szenario-Beschreibung im Anhang G zu entnehmen ist, sind für die Wahl einer Landstelle die Hangneigung, die Distanz zu den Hindernissen sowie die Distanz zur Person in Notlage relevant. Die verschiedenen Ausprägungen dieser drei Faktoren werden gemäss den Tabelle 5 und Tabelle 6 kategorisiert. Diese Kategorisierungen sind für die Erarbeitung der Aufgabenvarianten sowie später für die Auswertung von Nöten.

Tabelle 5: Kategorisierung der Hangneigung für die Erarbeitung verschiedener Aufgabenvarianten.

Hangneigung in °	Kategorie
0.0 – 10.0	Ideal
10.1 – 15.0	O.k.
15.1 – 20.0	Schlecht
> 20.1	Sehr Schlecht

Tabelle 6: Kategorisierung der Distanzen zu den zwei Arten von Hindernissen und der Person in Notlage für die Erarbeitung verschiedener Aufgabenvarianten.

Distanz zu Luftfahrthindernis in m	Kategorie
< 100	Gut
> 100	Zu nahe
Distanz zu Skilift in m	
< 200	Gut
> 200	Zu nahe
Distanz zur Person in Notlage in m	
< 300	Gering
300 – 400	Mittel
> 400	Gross

Eine Aufgabenvariante ist eine spezifische Kombination der verschiedenen Ausprägungen der drei Faktoren. Insgesamt werden vier verschiedene Aufgabenvarianten erarbeitet. Jede Aufgabenvariante wird gemäss der Auflistung in Tabelle 7 anschliessend auf zwei der acht ausgewählten Regionen angewendet. Die Varianten werden so erarbeitet, dass es in jeder Variante zwei oder drei Landstellen gibt, auf denen gelandet werden könnte und die folglich als «korrekt» gelten. Des Weiteren gibt es in jeder Variante eine oder zwei Landstellen, die aufgrund der Ausprägung eines Faktors nicht als Landstellen taugen und daher als «falsch» gelten. Letztendlich gibt es in jeder Variante zwei Landstellen, die aufgrund der Ausprägungen zweier Faktoren nicht als Landstelle benützt werden können und daher als «sehr falsch» gelten. Zusammengefasst bedeutet das, dass die Teilnehmer in jedem Fall mindestens drei Landstellen sofort ausschliessen sollten und sich zwischen mindestens zwei passenden Landstellen entscheiden müssen.

Tabelle 7: Zuteilung der Regionen zu den vier Aufgabenvarianten.

Variante	Region 1	Region 2
1	Arosa	Serneus
2	Churwalden	Klosters
3	Tschiertschen	Bergün
4	Bivio	San Bernadino

Die Varianten unterscheiden sich in erster Linie in der Anzahl an Landstellen, die den jeweiligen Hangneigungskategorien zugeordnet werden. Da es zu diesem Zeitpunkt noch keine Rolle spielt, ob die Hangneigung «sehr schlecht» oder «schlecht» ist, werden diese zwei Kategorien zusammengefasst. In Tabelle 8 ist pro Variante aufgeführt, wie viele Landstellen es in den einzelnen Kategorien hat. Bei der Variante 2 gibt es beispielsweise drei Landstellen in der Kategorie «ideal», eine in der Kategorie «o.k.» und zwei in der Kategorie «sehr schlecht/schlecht». Von diesen zwei gilt, wie bei allen anderen Varianten, die Hangneigung von mindestens einer Landstelle dieser Kategorie als «schlecht».

In zweiter Linie unterscheiden sich die Varianten in der Anzahl an Landstellen, die zu nahe an einem oder beiden Arten von Hindernissen sind. In Tabelle 9 sind pro Variante die Anzahl an Landstellen aufgeführt, die zu beiden Arten von Hindernissen genügend Abstand haben («2 x gut»), die nur zu einer Art von Hindernis genügend Abstand haben, zur anderen aber nicht («1 x gut und 1 x zu nahe»), und die nicht genügend Abstand zu beiden Arten von Hindernissen haben («2 x zu nahe»). In der Variante 1 sind zum Beispiel bei drei Landstellen alle Abstände zu beiden Arten von Hindernissen genügend gross. Zwei Landstellen befinden sich zu nahe bei einem Luftfahrthindernis oder einem Skilift und eine Landstelle befindet sich zu nahe bei einem Luftfahrthindernis und einem Skilift.

Tabelle 8: Anzahl Landstellen, die pro Aufgabenvariante in die verschiedenen Hangneigungskategorien fallen.

Variante	Anzahl Landstellen in der Hangneigungskategorie		
	Ideal	O.k.	Sehr schlecht/schlecht
1	2	2	2
2	3	1	2
3	1	2	3
4	2	3	1

Tabelle 9: Anzahl Landestellen, deren Abstände pro Aufgabenvariante zu den zwei Arten von Hindernissen «gut» oder «zu nahe» sind.

Variante	Anzahl Landestellen in der Abstandskategorie		
	2 x gut	1 x gut und 1 x zu nahe	2 x zu nahe
1	3	2	1
2	4	1	1
3	3	3	0
4	3	2	1

In jeder Aufgabenvariante werden schliesslich die Hangneigungskategorien und die Distanzkategorien unterschiedlich kombiniert, sodass sich alle Varianten deutlich voneinander unterscheiden. Der Schwierigkeitsgrad sollte so jedoch bei allen Varianten etwa gleich sein. Alle Varianten sind im Anhang A aufgelistet. Tabelle 10 zeigt die Variante 1, die auf die Karte von Arosa angewendet wird. Die Landestellen werden nach den hier erarbeiteten Varianten in den Karten angesiedelt, was im Folgenden erklärt wird.

Tabelle 10: Beispiel einer Variantentabelle für die Variante 1 und die Region Arosa.

Variante 1, Region 1: Arosa			
Landestelle	Hangneigungskategorie	Distanzen Luftfahrthindernis und Skilift	Lösung ohne Unsicherheit
Stelle 1	Schlecht	1 x gut und 1 x zu nahe	Sehr Falsch
Stelle 2	Sehr schlecht	2 x gut	Falsch
Stelle 3	Ideal	1 x gut und 1 x zu nahe	Falsch
Stelle 4	Ideal	2 x gut	Korrekt
Stelle 5	O.k.	2 x zu nahe	Sehr Falsch
Stelle 6	O.k.	2 x gut	Korrekt

Ansiedlung der Person in Notlage

Die Person in Notlage wird stets in einem Gebiet mit «schlechter» oder «sehr schlechter» Hangneigung platziert, da sich die Teilnehmer, wäre die Person in Notlage an einem Ort mit Hangneigung «ideal» oder «o.k.», allenfalls fragen würden, weshalb der Helikopter nicht direkt bei der Person in Notlage landen soll. Wenn möglich wird die Person in Notlage zudem eher in der Mitte der Karte platziert, sodass die Landestellen im engen Umkreis angesiedelt werden können. Da es sich jedoch um echte Hangneigungsdaten handelt und es nicht immer in der Mitte jedes Kartenausschnittes «schlecht» oder «sehr schlecht» geeignete Hangneigungen hat, ist dies nicht immer möglich. In Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen kann sich die Person in Notlage sowohl in Gebieten ohne oder mit Unsicherheiten

befinden, da es für die Entscheidung irrelevant ist, ob bei der Person in Notlage Unsicherheiten vorhanden sind oder nicht.

Ansiedlung der Landstellen

Als letzter Schritt werden die Landstellen nach den in den Aufgabenvarianten festgehaltenen Kriterien in den Kartenausschnitten um die Person in Notlage herum angesiedelt. Dabei wird darauf geachtet, dass diejenige der zwei oder drei korrekten Landstellen, mit der besten Hangneigung («ideal») sich weiter weg von der Zielperson befindet, als die Landstelle(n) mit einer «o.k.»-Hangneigung. Dies zwingt die Teilnehmer abzuwägen, ob sie die Landstelle wählen, die näher liegt, dafür aber nur der Kategorie «o.k.» entspricht, oder die Landstelle, die weiter weg liegt dafür aber «ideal» ist. Nach der Platzierung der Landstellen in den Kartenausschnitten werden die Abstände zu den Zielpersonen gemessen und ebenfalls in die Variantentabellen (Anhang A) eingetragen. Bezeichnet werden die platzierten Landstellen in den Karten nicht mit den Zahlen von 1 bis 6, sondern mit den Buchstaben A bis F. Da jede Variante mehrmals vorkommt und die Teilnehmer sich die Landstellen nicht über ihre Bezeichnung merken sollten, werden die Buchstaben zufällig mithilfe des *List Randomizers* von random.org⁷ den Landstellen zugeteilt. Die zugeteilten Buchstaben sind ebenfalls in den Variantentabellen im Anhang A (unter «Original») aufgeführt. Eine komplett fertige Karte mit allen nötigen Elementen für die Entscheidungsaufgabe ist in Abb. 38 zu sehen.

Duplizieren der Karten

Mit den beschriebenen Abläufen werden insgesamt acht Karten für die Entscheidungsaufgaben sowie eine Karte für die Beispielaufgabe entwickelt. Da die Teilnehmer jedoch 16 Entscheidungsaufgaben lösen sollten (acht ohne und acht mit Unsicherheitsvisualisierungen, siehe Abb. 32), wird jede Karte einmal dupliziert, sodass es insgesamt 16 Karten für die Entscheidungsaufgaben gibt. Bei der Duplikation wird jede Karte mit allen darin enthaltenen Elementen (inklusive der dazugehörigen Unsicherheiten) um 90° im Uhrzeigersinn gedreht und anschliessend horizontal gespiegelt (siehe Abb. 39), sodass die Teilnehmer nicht erkennen können, dass es sich um dieselben Karten handelt. Die Landstellen in den Duplikaten werden mithilfe von random.org⁷ neu bzw. anders bezeichnet. Die neu zugeteilten Buchstaben sind ebenfalls in den Variantentabellen im Anhang A (unter «Duplikat») eingetragen. Schlussendlich werden in jeweils einer der zwei «identischen» Karten die Unsicherheiten visualisiert. Abwechselnd geschieht dies im Original oder im Duplikat. Dieses Vorgehen hat zum Vorteil, dass exakt dieselbe Entscheidung einmal mit und einmal ohne Unsicherheiten getroffen wird, ohne dass die Teilnehmer dies merken. So kann bei der Auswertung ein direkter Vergleich gezogen werden. In den Variantentabellen im Anhang A ist jeweils mit blau markiert, in welcher von beiden Karten (Original oder Duplikat) die Unsicherheiten visualisiert sind. Um die Tabellen zu vervollständigen, ist zudem (unter «Unsicheres Gebiet») aufgeführt, welche der sechs Landstellen in den Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen in

⁷ <https://www.random.org/lists/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

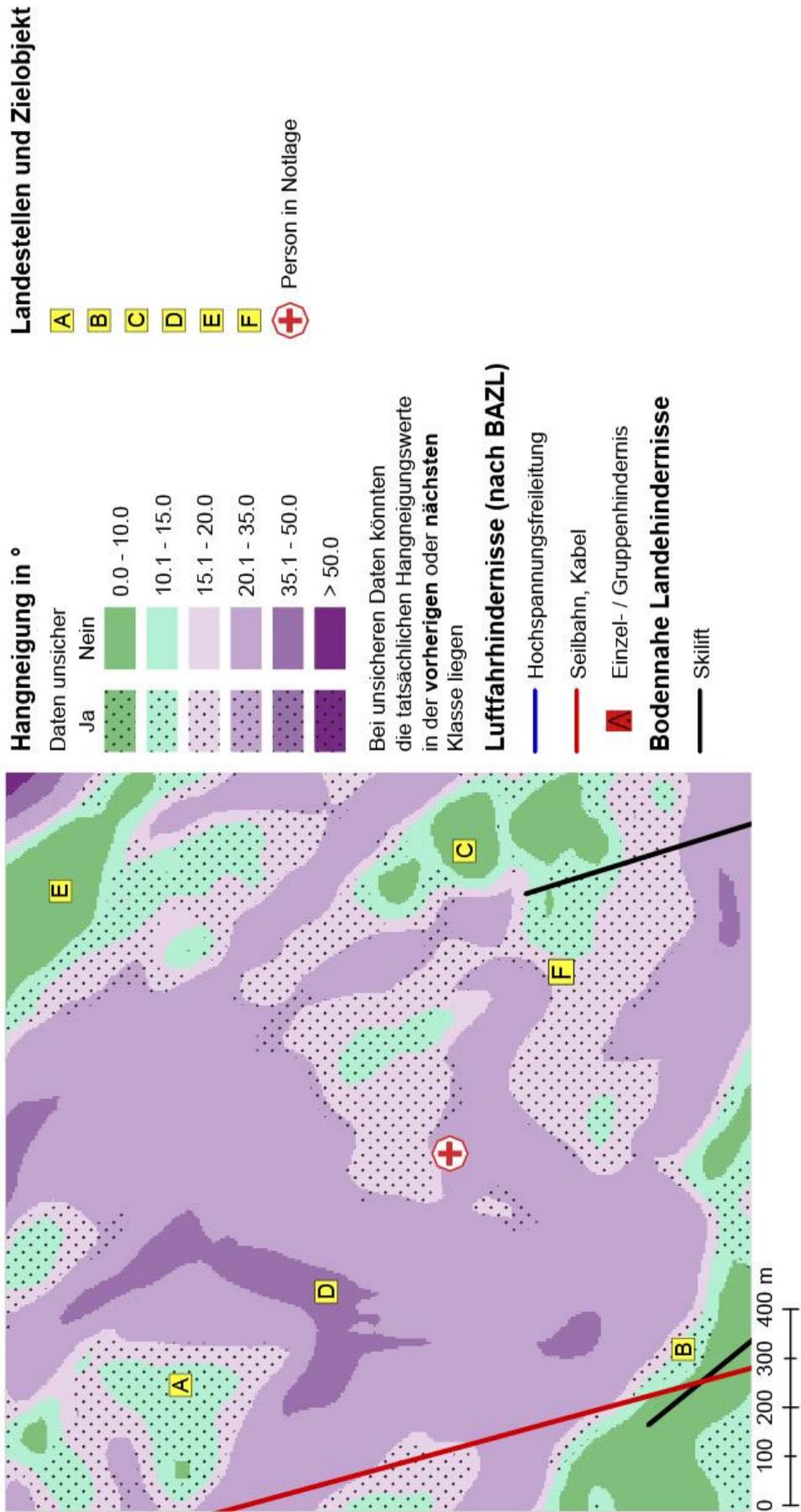


Abb. 38: Komplette Karte mit allen Elementen, so, wie sie die Teilnehmer zu sehen bekamen (Region: Flims).

unsicheren Regionen liegen. Später werden für die Auswertung die Variantentabellen im Anhang A um je eine Spalte (Name der Spalte: Kat.) erweitert.

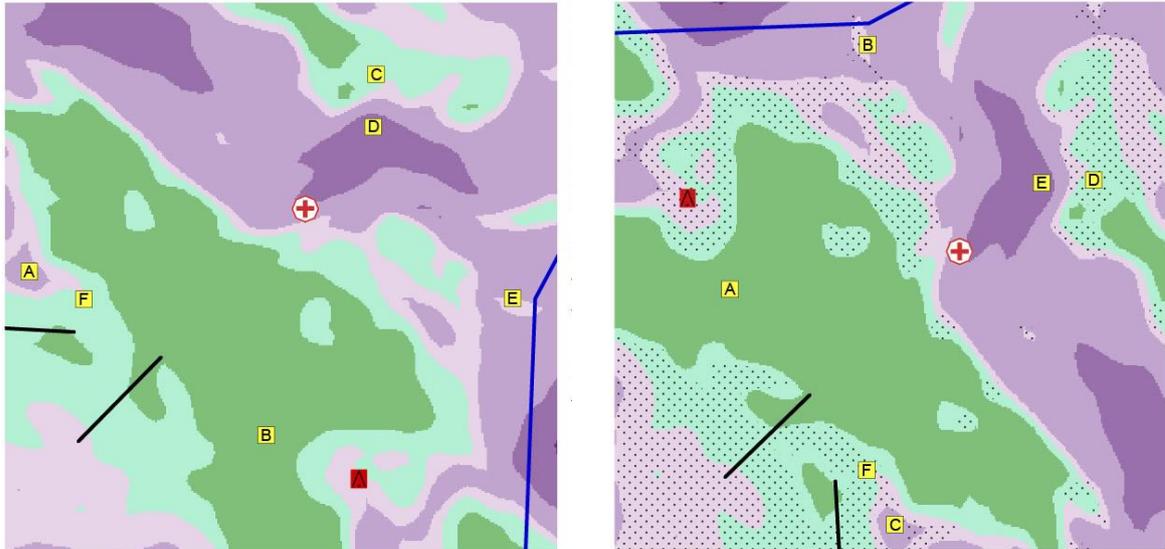


Abb. 39: Links: Originalkarte, rechts: Duplikat nach der Rotation um 90° im Uhrzeigersinn, der horizontalen Spiegelung und der Neubeschriftung (Region: Bergün).

4.6.5. Festlegen des Zeitlimits

Das Zeitlimit für die Entscheidungsaufgaben wird mithilfe der Resultate aus der Vorstudie, die im Unterkapitel 5.1.2. beschrieben sind, bestimmt. Zur Bestimmung des Zeitlimits wird die Mittelwertsmethode von Ordóñez und Benson (1997) angewendet. Das Zeitlimit wird mit dieser Methode folgendermassen berechnet:

$$\text{Zeitlimit} = \text{Mittelwert} - 1 \text{ Standardabweichung} \quad (1)$$

Angenommen, die Entscheidungszeiten sind normalverteilt, so müssten durch dieses Zeitlimit ca. 84% aller Teilnehmer schneller zu einer Entscheidung kommen, als sie dies normalerweise tun würden (Ordóñez und Benson 1997). Es handelt sich daher um ein eher kurzes oder striktes Zeitlimit. Fisher *et al.* (2003) wenden beispielsweise diese Methode an, um das kürzeste von drei verschiedenen Zeitlimits zu berechnen, während sie für ein mittleres Zeitlimit den Mittelwert wählen.

Für die Berechnung wird der Mittelwert und die Standardabweichung aller Entscheidungszeiten der Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen und der Entscheidungen mit der gepunkteten Unsicherheitsvisualisierung verwendet, da für beide Aufgabenarten dasselbe Zeitlimit gewählt wird. Der Mittelwert dieser Entscheidungszeiten beträgt 34.82s und die Standardabweichung 8.84s. Das Zeitlimit würde folglich 25.98s betragen, beziehungsweise 26s, da im verwendeten Umfragetool nur ganze Sekunden verwendet werden können. Beide Teilnehmer der zwei Pilottests zeigten sich jedoch erstaunt darüber, dass das Zeitlimit 26s und nicht 25s beträgt. Um Verwirrungen zu vermeiden, wird daher abgerundet und ein Zeitlimit von 25s gewählt. Die Auswertung der Vorstudie zeigt, dass nur 18,2% der

Vorstudienteilnehmer im Durchschnitt weniger als 25s für die Entscheidungen benötigten, folglich hätten sich 81.8% der Vorstudienteilnehmer mit diesem Zeitlimit schneller entscheiden müssen als sie dies taten, was mit der Theorie übereinstimmt und die Wahl des Zeitlimits bestätigt. Das Zeitlimit wird als Countdown (in der oberen linken Ecke) angezeigt, wie dies auch Wilkening (2012), Roullier (2013) oder Frei (2015) taten, da es ein gängiges (jedoch nicht einzig denkbares) Mittel ist, um Zeitlimits als Stressor einzusetzen.

4.6.6. *Eye Tracker*

Um nicht nur das Ergebnis der Entscheidungen analysieren zu können, sondern auch Informationen über den Entscheidungsprozess zu erhalten, werden die Augenbewegungen der Teilnehmer mithilfe eines *Eye Trackers* aufgezeichnet. Die Aufzeichnung der Augenbewegungen mittels Sensoren ist eine von mehreren Prozessaufzeichnungsmethoden, wobei es sich im Vergleich zu anderen um eine eher jüngere Methode handelt. Die *Eye Tracker*-Methodik geht davon aus, dass der Entscheidungsträger immer denjenigen Ort mit den Augen fixiert, dem er seine (gedankliche) Aufmerksamkeit schenkt (Glaholt und Reingold 2011).

Der verwendete *Eye Tracker* befindet sich fix installiert im Labor, in dem die Studie durchgeführt wird. Es handelt sich um das Modell Tobii TX300⁸. Bei diesem Modell ist der *Eye Tracker*-Sensor direkt mit einem dazugehörigen Bildschirm verbunden (siehe Abb. 40). Der *Eye Tracker* hat eine Aufnahme-rate von 300Hz und eine Genauigkeit von 0.4°. Der verbundene Bildschirm hat eine Grösse von 23 Zoll. Seine maximale Auflösung beträgt 1920x1080 Pixel und das Seitenverhältnis ist 16:9 (Tobii Technology 2014). Betrieben wird der *Eye Tracker* mithilfe der dazugehörigen Software Tobii Studio 3.4.7. Mit dieser Software können die Daten anschliessend auch auf vielfältige Weise analysiert werden.

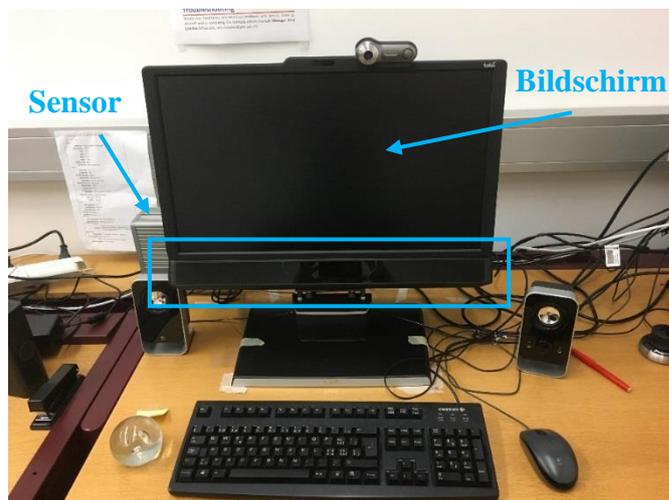


Abb. 40: Der verwendete *Eye Tracker* Tobii TX300 mit dem Sensor unter dem Bildschirm.

4.6.7. **Ablauf des zweiten Teils der Hauptstudie**

Der zweite Teil der Hauptstudie begann damit, dass die Teilnehmer gebeten wurden, den Platz zu wechseln und sich vor den Bildschirm mit integriertem *Eye Tracker* zu setzen. Den Teilnehmern wurde

⁸ <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-tx300/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

erklärt, wo sich die Sensoren des *Eye Trackers* befinden und dass sie während der gesamten Dauer des zweiten Teils sich möglichst wenig bewegen sondern ruhig sitzen sollten. Anschliessend wurde der Kalibrationsmodus des *Eye Trackers* gestartet, bei dem zuerst überprüft wird, ob die Augen des Teilnehmers erkannt werden und ob deren Abstand zum Bildschirm korrekt ist. Falls nötig, wurde die Sitzposition korrigiert. Anschliessend wurde die 9-Punkte-Kalibration durchgeführt. Falls die Überprüfung der Kalibration zeigte, dass bei einigen Punkten die Kalibration suboptimal war, wurden diese einmal nachkalibriert. Anschliessend konnten die Teilnehmer mit dem zweiten Teil beginnen, wobei sie jederzeit die Möglichkeit hatten, der Betreuungsperson Fragen zu stellen.

Zuerst lasen die Teilnehmer die Szenario-Beschreibung (siehe Anhang G). Anschliessend sahen sie zuerst die Beispielkarte ohne und dann mit den Landstellen und der Person in Notlage. Die Teilnehmer konnten sich dabei bereits überlegen, welche Landstelle sie wählen würden oder sich eine Strategie zurechtlegen. Darauffolgend wurde das Konzept von Unsicherheiten in Hangneigungswerten vorgestellt (siehe Anhang H). Daraufhin sahen die Teilnehmer nochmals die Beispielkarte, dieses Mal jedoch mit Unsicherheitsvisualisierungen. Zum Abschluss der Einleitung sahen die Teilnehmer abermals alle wichtigen Kriterien für die Entscheidungsaufgaben. Wichtig zu erwähnen ist, dass sich die Teilnehmer, auch diejenigen der UZ-Gruppe, so viel Zeit für die Einleitung und das Betrachten der Beispielkarten nehmen konnten wie sie benötigten. Die erste Entscheidungsaufgabe war für alle dieselbe, um sicherzustellen, dass es eine Entscheidung ohne Unsicherheitsvisualisierungen ist, anschliessend wurden die Karten in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Alle 16 Entscheidungsaufgaben sind im Anhang I abgedruckt. Konnten die Teilnehmer der UZ-Gruppe eine Entscheidungsaufgabe nicht vor Ablauf des Timers lösen, wurde die Frage automatisch ohne Vorwarnung geschlossen. Nach jeder Entscheidungsaufgabe mussten die Teilnehmer auf einer 5-teiligen Skala («sehr unsicher», «etwas unsicher», «neutral», «sicher», «sehr sicher») angeben, wie sicher sie sich in ihrer Entscheidung fühlten. Nach Abschluss der letzten Frage wurden die Teilnehmer gebeten, sich bei der Betreuungsperson zu melden, um zum dritten Teil der Hauptstudie überzugehen.

4.7. Dritter Teil der Hauptstudie

Der dritte und letzte Teil der Hauptstudie besteht aus dem Post-SSSQ sowie einer Nachbefragung. Beide Fragebogen werden mithilfe des Umfragetools Onlineumfragen.com⁹ durchgeführt.

Was der SSSQ ist und was er misst, wurde bereits im Kapitel 4.5.1. ausführlich erläutert. Um eine Veränderung im emotionalen Empfinden mithilfe des SSSQ feststellen zu können, wurde der zweite Teil des SSSQ, der Post-SSSQ, direkt nach den kartenbasierten Entscheidungsaufgaben durchgeführt. Die Fragen, die die Teilnehmer beantworten mussten, waren exakt dieselben wie im Pre-SSSQ, wobei abermals die Frage 12 im Fragebogen fehlte. Die Fragen sind im Anhang D aufgeführt.

Zum Abschluss der Studie folgte eine Nachbefragung. In der Nachbefragung wurden den Teilnehmern einige Fragen über die vorher gelösten Entscheidungsaufgaben gestellt. Sie wurden u.a. gefragt,

⁹ <https://www.onlineumfragen.com/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

ob sie das Szenario verstanden hatten, wie schwierig sie die Entscheidungsaufgaben fanden oder ob sie sich gestresst gefühlt hatten. Am Schluss bekamen sie zudem die Möglichkeit, sich frei über die Studie zu äussern oder Anmerkungen zu machen. Der gesamte Fragebogen ist in Anhang J abgedruckt. Ziel der Nachbefragung war zum einen zu eruieren, ob einige Teilnehmer die Entscheidungsaufgaben überhaupt nicht verstanden hatten und daher möglicherweise von der Auswertung ausgeschlossen werden müssten, und zum anderen, eine zusätzliche Angabe über das Stresslevel der Teilnehmer zu erhalten, falls sich der SSSQ als nicht geeignetes Messinstrument erweisen sollte.

Der Ablauf des dritten Teils der Hauptstudie war folgendermassen: Die Teilnehmer wurden nach Beendigung des zweiten Teils der Hauptstudie gebeten, den Platz zu wechseln und sich vor den Laptop zu setzen. Danach konnten sie eigenständig mit dem Post-SSSQ beginnen. Nach Abschluss des Post-SSSQ begann automatisch die Nachbefragung, sodass die Teilnehmer ohne eine Unterbrechung fortfahren konnten. Hatten die Teilnehmer die Nachbefragung beendet, meldeten sie sich bei der Betreuungsperson. Ihnen wurde für ihre Teilnahme gedankt und als Dankeschön erhielten alle unabhängig von ihrer Leistung eine Aluminiumtrinkflasche im Wert von ca. 6 CHF. Kein Teilnehmer wusste bei der Anmeldung, zu Beginn oder während der Studie, dass er am Ende ein Dankesgeschenk erhalten wird. Die Teilnehmer nahmen also ohne jeglichen materiellen Anreiz an der Studie teil.

5. Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der Studie präsentiert. Dazu wird zuerst auf die Ergebnisse der Online-Vorstudie eingegangen und anschliessend auf diejenigen der Hauptstudie. Alle statistischen Analysen werden mit IBM SPSS Statistics 24¹⁰ durchgeführt. Für alle Tests wird ein Signifikanzniveau von 5% verwendet ($p \leq 0.05$). Die Effektstärke wird bei signifikanten Resultaten, wenn möglich durch den Korrelationskoeffizienten r angegeben. Ein kleiner Effekt ist gegeben bei $r = 0.10$, ein mittlerer Effekt bei $r = 0.30$ und ein grosser Effekt bei $r = 0.50$ (Cohen 1988, 1992 zit. in Field 2013). Ist die Voraussetzung eines Tests, dass die Variablen normalverteilt und/oder die Varianzen homogen sind, ist dies hier stets der Fall, sofern nicht explizit vermerkt ist, dass keine Normalverteilung und/oder Varianzhomogenität vorliegen. Für die Auswahl der passenden statistischen Tests, deren Durchführung sowie Interpretation wurde das Buch *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* von Field (2013) verwendet.

5.1. Online-Vorstudie

Im Folgenden werden einige Resultate der Vorstudie vorgestellt. Die Auswertung der Vorstudie erfolgte vor der Durchführung der Hauptstudie, da die Resultate der Vorstudie als Grundlage für die Fertigstellung der Hauptstudie dienten. Es wurden jedoch nur diejenigen Aspekte der Vorstudie ausgewertet und folglich hier präsentiert, die für die Vorbereitung der Hauptstudie direkt relevant waren. Bei den acht Entscheidungsaufgaben wurden daher beispielsweise die Entscheidungen an und für sich nicht analysiert, sondern nur die Zeiten, die die Teilnehmer brauchten, um die Entscheidungen zu treffen.

5.1.1. Persönlichkeitsfragebogen

Von 17 eingeladenen Personen haben insgesamt 11 Personen an der Online-Vorstudie teilgenommen (Rücklaufquote: 64,7%). Davon sind 6 weiblich (55%) und 5 männlich (45%). Die Vorstudienteilnehmer sind im Durchschnitt 34.81 Jahre alt, wobei die Spannweite von 23 bis 58 Jahre reicht. 4 Teilnehmer haben eine Berufslehre absolviert (36%), 6 Teilnehmer haben einen Universitäts- oder Hochschulabschluss (55%) und 1 Teilnehmer (9%) gibt an, eine höhere Berufsbildung zu haben. Mithilfe dieser Daten lässt sich zusammengefasst sagen, dass die Vorstudienteilnehmer eine heterogene Gruppe darstellen und dementsprechend auch dem Rekrutierungsprofil der Teilnehmer der Hauptstudie entsprechen, was wichtig ist, damit die Erkenntnisse der Vorstudie in die Vorbereitungen der Hauptstudie einfließen konnten.

5.1.2. Benötigte Entscheidungszeit

Die Zeit, die die Teilnehmer für ihre Entscheidungen benötigten, wird aus zwei Gründen analysiert. Um potenzielle Unterschiede zwischen den zwei verwendeten Unsicherheitsvisualisierungsmethoden

¹⁰ IBM (2017): <https://www.ibm.com/analytics/us/en/technology/spss/> (letzter Zugriff: 10.09.2017)

festzustellen, werden die Entscheidungszeiten, die die Teilnehmer pro Visualisierungstechnik benötigten, verglichen. So soll die optimalere der zwei Methoden eruiert werden. Zusätzlich werden die Resultate aus dieser Analyse verwendet, um ein passendes Zeitlimit für die Aufgaben unter Zeitdruck zu ermitteln.

Insgesamt wurden 88 Entscheidungszeiten aufgezeichnet (22 bei Karten ohne Unsicherheitsvisualisierungen und je 33 bei den Karten mit schwarz-weiss gestrichelten und schwarz gepunkteten Unsicherheitsrepräsentationen). Die Entscheidungszeiten für die Karten mit schwarz-weiss gestrichelter Unsicherheitsdarstellung liegen zwischen 11.00s und 93.00s und diejenigen für die gepunktete Unsicherheitsvisualisierung zwischen 9.00s und 85.00s, wobei es sich bei der Entscheidungszeit von 85.00s um einen Ausreisser handelt (siehe Boxplots in Abb. 41). Ohne diesen würden die Entscheidungszeiten zwischen 9.00s und 66.00s liegen.

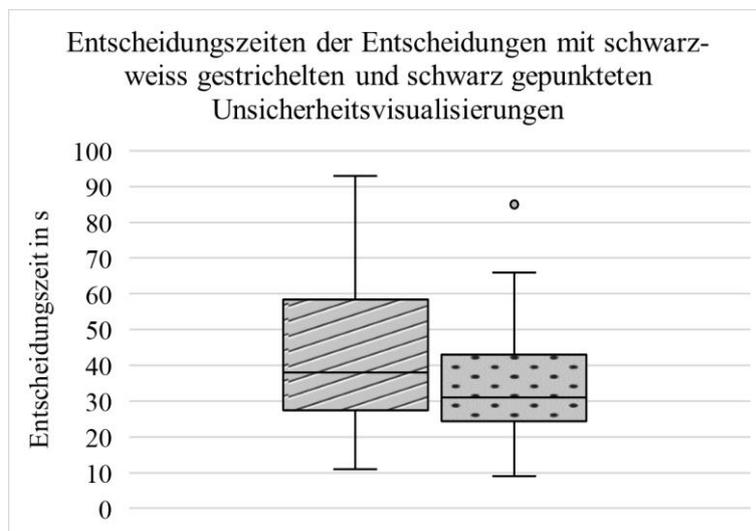


Abb. 41: Vergleich der Entscheidungszeiten der Entscheidungen mit schwarz-weiss gestrichelten (links) und schwarz gepunkteten (rechts) Unsicherheitsvisualisierungen.

Für die Analyse wird pro Visualisierungsart und pro Teilnehmer die durchschnittliche Entscheidungszeit berechnet. Bei der schwarz-weiss gestrichelten Unsicherheitsdarstellung brauchten alle Teilnehmer zusammen im Durchschnitt 42.97s (Standardabweichung: 14.50s) für ihre Entscheidungen. Bei der schwarz gepunkteten Unsicherheitsvisualisierungstechnik benötigten die Teilnehmer im Durchschnitt hingegen lediglich 33.97s (Standardabweichung: 15.00s). Die Unterschiede in den durchschnittlichen Entscheidungszeiten sind in Abb. 42 gut ersichtlich.

Da die Verteilung der durchschnittlichen Entscheidungszeiten bei der schwarz gepunkteten Unsicherheitsvisualisierungstechnik nicht normalverteilt ist, wird bei beiden Variablen eine Log-Transformation durchgeführt, wie dies Field (2013) für solche Fälle vorschlägt, und was dazu führt, dass beide Variablen normalverteilt sind. Ein anschließender t-Test für verbundene Stichproben zeigt, dass die Mittelwerte knapp nicht signifikant verschieden sind ($T = -2.16$, $df = 10$, $p = 0.056$). Müsste jedoch eine Aussage darüber gemacht werden, welche der zwei Unsicherheitsvisualisierungsmethoden in Bezug auf die Entscheidungszeiten die optimalere ist, wäre dies dennoch die schwarz gepunktete Darstellung, da

die kürzeste, die längste sowie die durchschnittliche Entscheidungszeit tiefer sind als bei der schwarz-weiß gestrichelten und das Resultat nur knapp nicht signifikant ist.

Basierend auf dieser Erkenntnis werden die Entscheidungszeiten für Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen und Entscheidungen mit schwarz gepunkteten Unsicherheitsvisualisierungen zusammen betrachtet (insgesamt 55 Entscheidungen), da diese Analyse relevant für die Ermittlung des Zeitlimits ist. Im Durchschnitt benötigten die Vorstudienteilnehmer für die erwähnten Entscheidungen 34.82s (Standardabweichung: 8.84s).

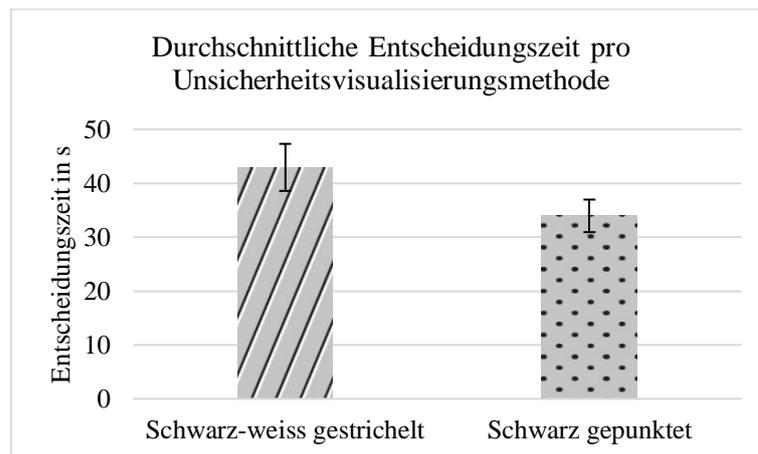


Abb. 42: Durchschnittliche Entscheidungszeit pro Unsicherheitsvisualisierungsmethode über alle Vorstudienteilnehmer (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.1.3. Bevorzugte Visualisierungsmethode

Da nicht alleine die Antwortzeit ausschlaggebend sein sollte für die Wahl einer Visualisierungsmethode, wurden die Teilnehmer nach den Entscheidungsaufgaben gefragt, welche der zwei Unsicherheitsvisualisierungsmethoden sie persönlich bevorzugen und aus welchen Gründen. Dabei gaben 7 Teilnehmer an (64%), dass sie die schwarz gepunktete Visualisierungstechnik bevorzugen, während nur 4 Teilnehmer (36%) die schwarz-weiß gestrichelte Methode für geeigneter hielten (siehe Abb. 43).

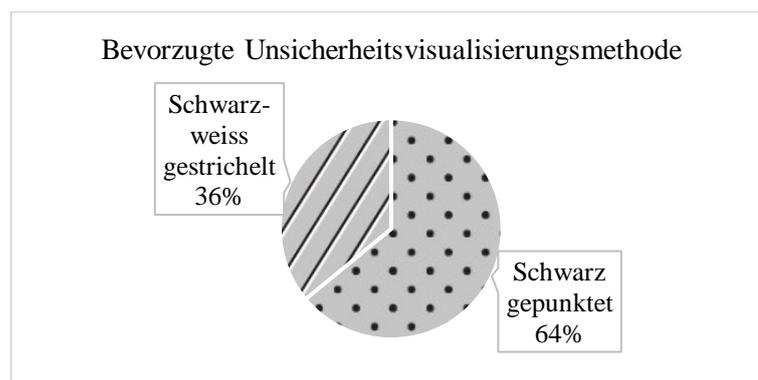


Abb. 43: Bevorzugte Unsicherheitsvisualisierungsmethode der Vorstudienteilnehmer.

Es wurden hauptsächlich zwei Gründe genannt, weshalb die schwarz gepunktete Technik die bevorzugte Methode ist. Einerseits sagten die Teilnehmer, dass es sich um eine «gewohntere und ruhigere Grafik» handelt, andererseits äusserten mehrere Teilnehmer, dass die einzelnen Bereiche (ohne und mit

Unsicherheiten) mit der schwarz gepunkteten Darstellung «besser abgegrenzt» sind und es sich daher um eine «genauere Angabe» handelt.

In Bezug auf die schwarz-weiße Schraffur gab es keine wirklich positiven Äusserungen. Eine Person schrieb, dass sie diese Methode bevorzugt, da sie etwas «Durchgestrichenes» eher mit etwas assoziiere, das «nicht verwendbar» ist, was jedoch keine Assoziation ist, die eine Unsicherheitsvisualisierung per se hervorrufen sollte. Ausserdem äusserten sich zwei Teilnehmer negativ über diese Methode, indem sie angaben, dass die «Strichlierung sehr dominant ist» und dass es «bereits sehr viele Linienelemente» auf der Karte gibt, es also zu viele linienförmige Elemente hat zusammen mit den schwarz-weißen Linien der Unsicherheitsvisualisierung.

Die Teilnehmer bevorzugten also auch subjektiv diejenige Visualisierungsmethode, mit der sie tendenziell schneller zu einer Entscheidung kommen, weshalb die Wahl letztendlich auf die schwarz gepunktete Unsicherheitsvisualisierungstechnik fällt.

5.2. Erster Teil der Hauptstudie

In diesem Unterkapitel werden die Resultate des ersten Teils der Hauptstudie erläutert. Dazu wird pro Thema und Unterthema zuerst auf die Resultate aller Teilnehmer gemeinsam eingegangen. Dabei beziehen sich die angegebenen Prozentzahlen immer auf alle Teilnehmer. Anschliessend werden die Resultate separat für die OZ- und die UZ-Gruppe vorgestellt, um so mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Teilnehmern der zwei Gruppen zu identifizieren. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich in diesem Fall nur auf die Anzahl Teilnehmer der jeweiligen Gruppe. Die Resultate des Pre-SSSQ, der theoretisch zum ersten Teil der Hauptstudie gehört, werden erst im Kapitel 5.4.1. vorgestellt, da nur eine gemeinsame Betrachtung des Pre- und Post-SSSQ sinnvoll ist.

5.2.1. Persönlichkeitsfragebogen

Geschlecht

Insgesamt haben 34 Personen an der Studie teilgenommen, wobei es mit jeweils 17 Personen gleich viele Teilnehmer in der OZ- wie in der UZ-Gruppe gibt. Von den insgesamt 34 Teilnehmern sind 18 (52.9%) weiblich und 16 (47.1%) männlich. Die Geschlechteraufteilung ist in beiden Gruppen gleich, sodass es in der OZ- sowie in der UZ-Gruppe jeweils 9 weibliche und 8 männliche Teilnehmer gibt.

Alter

Die Teilnehmer sind zwischen 17 und 59 Jahren alt. Während in beiden Gruppen die jeweils jüngste Person 17 Jahren alt ist, ist die älteste Person in der OZ-Gruppe 56 Jahren und in der UZ-Gruppe 59 Jahre alt. Der Altersdurchschnitt aller Teilnehmer zusammen liegt bei 27.74 (Standardabweichung: 10.24 Jahre). Separat betrachtet sind die Teilnehmer der OZ-Gruppe im Durchschnitt 27.94 Jahre (Standardabweichung: 10.50 Jahre) und die Teilnehmer der UZ-Gruppe 27.53 Jahre (Standardabweichung: 10.30 Jahre) alt.

Ausbildungshintergrund

Da für die Studie nicht nur Studenten angeworben wurden, sondern auch Personen aus verschiedenen Berufsgruppen (u.a. Metzger, Bauzeichner, Dentalassistentinnen, Lehrerinnen oder Kaufmänner und

-frauen) haben die Teilnehmer einen diversen Ausbildungshintergrund (siehe Abb. 44). Jede Ausbildungskategorie vom obligatorischen Grundschulabschluss bis zum Universitäts- oder Hochschulabschluss ist vertreten. 12 Teilnehmer (35.3%) geben an, als höchsten Abschluss eine Berufslehre zu haben und 15 Teilnehmer (44.1%) haben einen Universitäts- oder Hochschulabschluss. Die restlichen 7 Teilnehmer haben einen obligatorischen Grundschulabschluss (5.9%), einen Maturitätsabschluss (11.8%) oder eine höhere Berufsbildung (2.9%) absolviert. Bezüglich des Ausbildungshintergrundes der Teilnehmer sind sich die zwei Gruppen relativ ähnlich (siehe Abb. 44). In beiden Gruppen gibt es jeweils 6 Personen (je 35.3%) mit einer Berufslehre. In der OZ-Gruppe gibt es 7 Hochschulabgänger (41.2%) und in der UZ-Gruppe deren 8 (47.1%). Einzig in Bezug auf die Anzahl Teilnehmer mit Maturitätsabschluss oder einer höheren Ausbildung sind die zwei Gruppen nicht ganz ausgeglichen. Während es in der OZ-Gruppe 3 Personen (17.6%) mit einer Matura gibt, hat es in der UZ-Gruppe nur 1 Person (5.9%) mit einem Maturitätsabschluss. Dafür gibt es in der UZ-Gruppe auch 1 Person mit einer höheren Ausbildung (5.9%). Ein exakter Test nach Fisher (es liegen mehrere erwartete Zelhäufigkeiten kleiner als 5 vor) zeigt, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Gruppeneinteilung und dem Ausbildungshintergrund der Teilnehmer gibt ($p = 0.886$). Die Teilnehmer beider Gruppen haben also gesamthaft etwa den gleichen Ausbildungshintergrund.

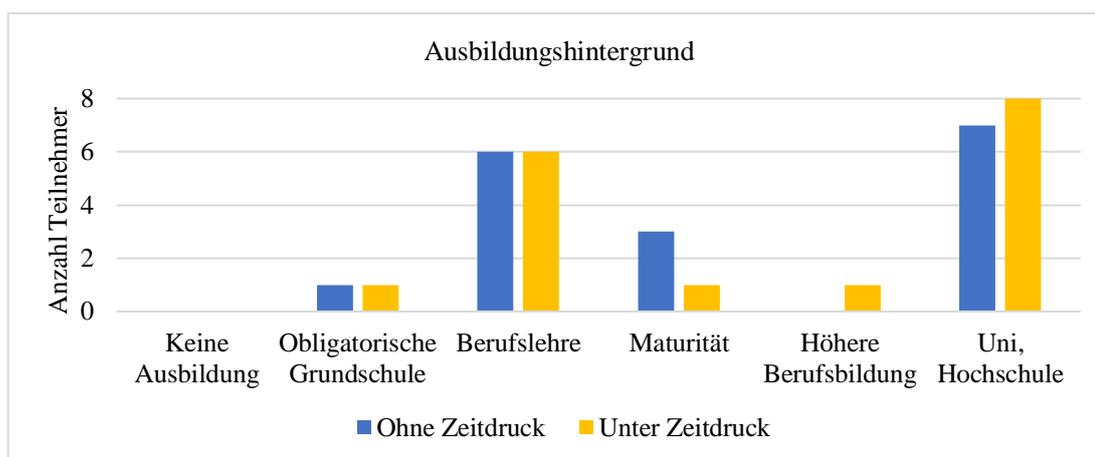


Abb. 44: Ausbildungshintergrund der Teilnehmer.

Kartengebrauch in der Freizeit

So divers wie die Teilnehmer in Bezug auf ihren Ausbildungshintergrund sind, so unterschiedlich häufig gehen sie Freizeitaktivitäten nach, die den Gebrauch von Karten erfordern. 7 der insgesamt 34 Teilnehmer (20.6%) gebrauchen gar nie Karten in ihrer Freizeit. 12 Personen (35.3%) und somit der grösste Anteil benützten selten Karten bei ihren Freizeitaktivitäten. Je 7 Personen (je 20.6%) gehen hingegen manchmal und sogar oft Freizeitaktivitäten nach, bei denen sie Karten zu Hilfe nehmen. Schliesslich gibt 1 Teilnehmer an, sehr oft (mehrmals pro Woche) in seiner Freizeit Karten zu benützen.

Sowohl in der OZ- wie auch in der UZ-Gruppe benützen die Teilnehmer grösstenteils selten Karten in ihrer Freizeit, jedoch ist der Anteil, der angibt, selten Karten zu benützen, in der OZ-Gruppe etwas grösser (41.2%) als in der UZ-Gruppe (29.4%). Die Verteilung auf die übrigen Häufigkeitskategorien

unterscheidet sich ebenfalls leicht zwischen den beiden Gruppen, jedoch unterscheidet sich die Anzahl Teilnehmer pro Kategorie jeweils nur um 1 Person, was in der Abb. 45 ersichtlich ist. Ein exakter Test nach Fisher (es liegen mehrere erwartete Zellohäufigkeiten kleiner als 5 vor) zeigt auch statistisch, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Gruppeneinteilung und dem Kartengebrauch in der Freizeit gibt ($p = 0.898$), beide Gruppen also diesbezüglich gleich sind. Da die Teilnehmer grösstenteils kaum Karten in ihrer Freizeit benützen, wird in der Analyse des zweiten Teils der Hauptstudie nicht darauf eingegangen, ob es Unterschiede im Entscheidungsverhalten gibt zwischen Personen, die selten oder häufig Karten benützen.

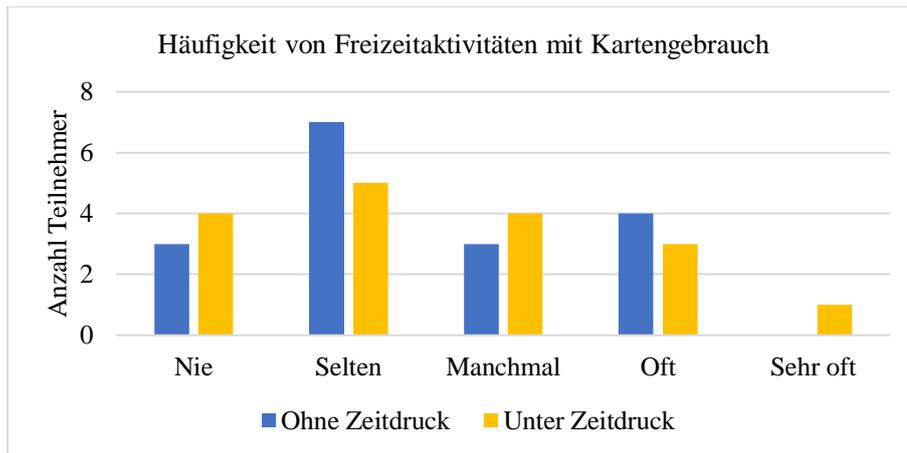


Abb. 45: Häufigkeit von Freizeitaktivitäten, die den Gebrauch von Karten erfordern.

Häufigkeit von Videospiele

Die Auswertung der Frage nach der Häufigkeit, mit der die Teilnehmer Videospiele spielen, zeigt, dass eine grosse Mehrheit gar nie oder nur selten Videospiele spielt (zusammen 82.4%). Gerade einmal 3 Teilnehmer (8.8%) spielen oft oder sehr oft Videospiele.

Ein gleiches Bild ergibt sich bei separater Betrachtung der zwei Gruppen, wobei der Anteil an Personen, die gar nie oder nur selten Videospiele spielen, in der OZ-Gruppe noch etwas grösser ist (94.1%) als in der UZ-Gruppe (70.6%).

Erfahrung in relevanten Bereichen

Schliesslich zeigt der Persönlichkeitsfragebogen, dass es sich bei den Teilnehmern mehrheitlich um Laien handelt, was deren Erfahrung in den Bereichen Kartographie, GIS, topographische Karten sowie DHMs anbelangt, es jedoch auch vereinzelt Teilnehmer gibt, die in den genannten Bereichen viel Erfahrung haben und somit als Experten betrachtet werden können. Wie in Abb. 46 ersichtlich ist, haben die Teilnehmer besonders wenig Erfahrung mit DHMs und GIS. Etwas mehr Erfahrung haben sie mit topographischen Karten und Kartographie im Allgemeinen.

Der Gruppenvergleich zeigt, dass es in beiden Gruppen etwa gleich viele Teilnehmer mit gar keiner oder wenig Erfahrung in den einzelnen Bereichen gibt. In der OZ-Gruppe hat es jedoch in jedem Bereich mehr Teilnehmer mit sehr viel Erfahrung und in fast jedem Bereich mehr Teilnehmer mit viel Erfahrung. Bezüglich der Fachkompetenz scheinen die Gruppen also nicht ganz ausgeglichen zu sein, da es in der

OZ-Gruppe etwas mehr Teilnehmer gibt, die als Experten bezeichnet werden könnten, als in der UZ-Gruppe. Je ein exakter Test nach Fisher (es liegen pro Bereich mehrere erwartete Zellhäufigkeiten kleiner als 5 vor) zeigt jedoch auch hier, dass es keinen Zusammenhang zwischen der Gruppenzuteilung und der Erfahrung in den einzelnen Bereichen gibt (Kartographie: $p = 0.917$, GIS: $p = 1.000$, topographische Karten: $p = 0.452$, DHM: $p = 1.000$), die Gruppen unterscheiden sich also nicht in ihrer Fachkompetenz. Da die Teilnehmer insgesamt hauptsächlich Laien sind und nur wenige Teilnehmer pro Gruppe als Experten gelten, wird in der Auswertung des 2. Teils der Hauptstudie nicht mehr auf die Fachkompetenz eingegangen.

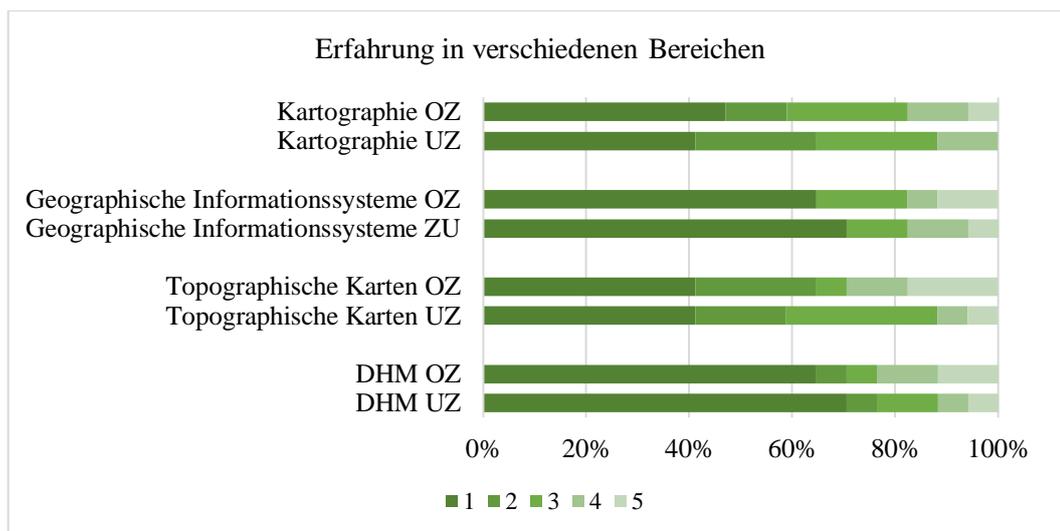


Abb. 46: Erfahrung in verschiedenen für die Entscheidungsaufgaben relevanten Bereichen (1 = gar keine Erfahrung, 5 = sehr viel Erfahrung / täglicher Gebrauch).

Insgesamt zeigt der Persönlichkeitsfragebogen, dass die Teilnehmer in Bezug auf ihr Alter, ihren Ausbildungshintergrund, ihren Kartengebrauch sowie ihre Fachkompetenz in relevanten Bereichen eine sehr heterogene Gruppe darstellen. Die Gruppenvergleiche zeigen ausserdem, dass sich die zwei Gruppen insgesamt sehr ähnlich sind und keine grossen Unterschiede bezüglich eines spezifischen Merkmals aufweisen.

5.2.2. Papierfalttest

Für die Auswertung des Papierfalttests wird pro Aufgabenseite (insgesamt gibt es zwei Aufgabenseiten) gezählt, wie viele der jeweils zehn Aufgaben korrekt und wie viele falsch gelöst wurden. Die Ergebnisse beider Aufgabenseiten werden addiert, was von den insgesamt zwanzig Aufgaben total die Anzahl korrekt und Anzahl falsch gelöster Aufgaben ergibt. Die endgültige Punktzahl pro Teilnehmer wird nach Ekstrom *et al.* (1976) berechnet, indem von der Gesamtanzahl korrekter Antworten der Bruchteil der Gesamtanzahl falscher Antworten subtrahiert wird. Die Formel lautet ausgeschrieben:

$$\text{Punktetotal} = (\text{Anzahl korrekt Seite 1} + \text{Anzahl korrekt Seite 2}) - ((\text{Anzahl falsch Seite 1} + \text{Anzahl falsch Seite 2}) / 20) (2)$$

Die erreichten Punkte reichen von 4.55 bis 20.00 (siehe Abb. 47). Der Mittelwert aller Teilnehmer beider Gruppen liegt bei 12.76 Punkten (Standardabweichung: 4.25 Punkte). Der Median liegt mit 12.78 Punkten nahe beim Mittelwert.

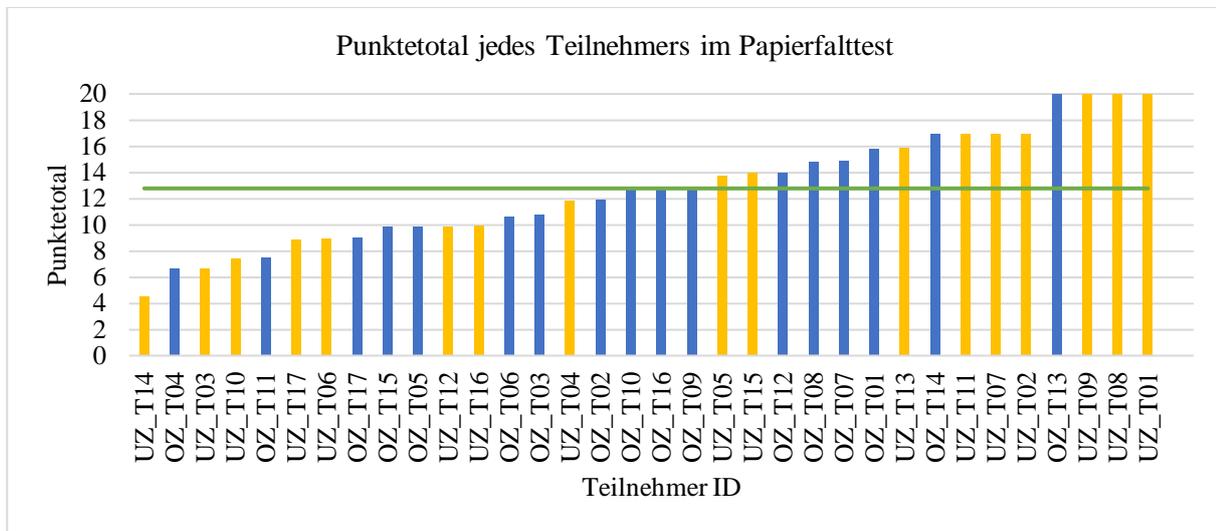


Abb. 47: Punktetotal jedes Teilnehmers im Papierfalttest (nach der Auswertungsmethode von Ekstrom *et al.* 1976). Blau: Teilnehmer der OZ-Gruppe, gelb: Teilnehmer der UZ-Gruppe, grün: Median (über alle Teilnehmer).

Werden die zwei Gruppen separat betrachtet, reichen die erzielten Punkte bei der OZ-Gruppe von 6.65 bis 20.00 und bei der UZ-Gruppe von 4.55 bis 20.00. In beiden Gruppen haben also ein oder mehrere Teilnehmer die maximale Punktzahl erreicht (was auch in Abb. 47 zu sehen ist). Der Mittelwert bei der OZ-Gruppe liegt bei 12.42 Punkten (Standardabweichung: 3.47 Punkte) und bei der UZ-Gruppe minim höher bei 13.10 Punkten (Standardabweichung: 5.00 Punkte, siehe Abb. 48). Ein t-Test für unabhängige Stichproben zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der zwei Gruppen gibt ($T = -0.46$, $df = 28.537$, $p = 0.651$, der Levene's Test zeigt, dass keine Varianzhomogenität vorliegt, die Teststatistik wurde dementsprechend gewählt). Die zwei Gruppen sind also nicht nur bezüglich der im vorherigen Unterkapitel vorgestellten Merkmale, sondern auch bezüglich ihrer räumlichen Denkfähigkeit identisch.

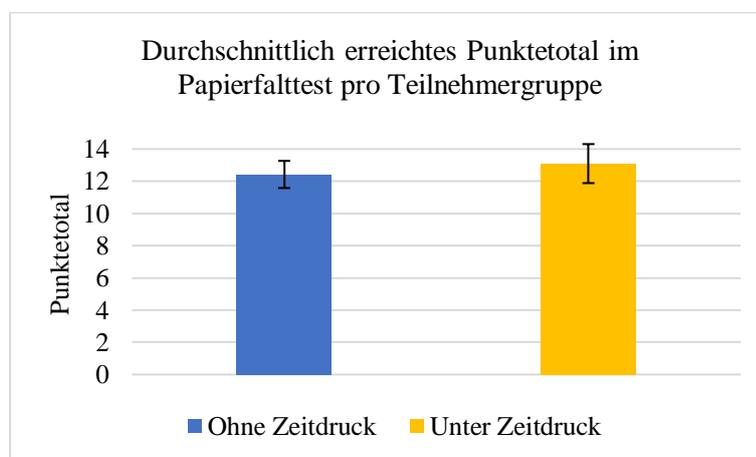


Abb. 48: Durchschnittlich erreichtes Punktetotal im Papiertests pro Teilnehmergruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.3. Zweiter Teil der Hauptstudie

In diesem Teil werden die kartenbasierten Entscheidungsaufgaben sowie die Fragen zur Entscheidungssicherheit analysiert. Dazu müssen zuerst die gesammelten Rohdaten der Entscheidungen transformiert werden. Anschliessend werden die verschiedenen Entscheidungen (mit und ohne Unsicherheit, mit und unter Zeitdruck) miteinander verglichen. Dabei wird auch darauf eingegangen, ob es einen Zusammenhang gibt zwischen der räumlichen Denkfähigkeit und der Entscheidungsleistung. Ausserdem wird eruiert, ob Zeitdruck oder Unsicherheitsvisualisierungen einen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit haben. Zusätzlich werden die Entscheidungszeiten für Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen genauer betrachtet. Abschliessend wird auf die Resultate des *Eye Trackers* eingegangen.

5.3.1. Transformation der Rohdaten

Um die Ergebnisse der Entscheidungen analysieren zu können, müssen die Rohdaten (für welche Landestelle von A bis F sich die Teilnehmer pro Entscheidungsaufgabe jeweils entschieden haben) zuerst transformiert werden. Bei einigen Studien über den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen gibt es ganz klar korrekte und falsche Entscheidungen. Ein Beispiel hierfür ist die Studie von Leitner und Buttenfield (2000), bei der es jeweils nur eine korrekte Entscheidung gab. Bei anderen Studien wie beispielsweise derjenigen von Kübler (2016) gibt es gar kein Richtig oder Falsch.

Bei der hier vorliegenden Studie handelt es sich um eine Mischung aus den zwei Arten. Wie in Kapitel 4.6.4. bereits kurz erläutert, gibt es in Karten ohne Unsicherheitsvisualisierungen «sehr falsche», «falsche» und «korrekte» Entscheidungen. Gäbe es auch in Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen «sehr falsche», «falsche» und «korrekte» Entscheidungen, könnte die Korrektheit der Entscheidungen verglichen werden, wie Leitner und Buttenfield (2000) es tun. Sobald jedoch Unsicherheiten visualisiert sind, kann in dieser Studie nicht mehr in jedem Fall klar definiert werden, ob die Entscheidung korrekt ist oder nicht. Zwar gibt es noch immer einige Landestellen, die ganz klar «sehr falsch», «falsch» und «korrekt» sind, doch für andere Landestellen kann dies nicht mehr definiert werden. Diese Landestellen haben ohne Unsicherheiten Hangneigungen, die als «o.k.» (10.1-15.0°) oder «schlecht» (15.1 – 20.0°) kategorisiert werden (siehe Tabelle 5 in Kapitel 4.6.4. für die Kategorisierung der Hangneigungen). Liegen diese Landestellen jedoch in unsicheren Gebieten und sind die Unsicherheiten visualisiert, könnten die Hangneigungen dieser Landestellen in der nächsten oder vorherigen Hangneigungsklasse liegen. War die Hangneigung ohne Unsicherheiten für eine Landung «o.k.», könnte sie mit Unsicherheiten «ideal», aber auch «schlecht» sein. Die Hangneigung einer Landestelle, die als «schlecht» kategorisiert ist, könnte mit Unsicherheiten «o.k.», aber auch «sehr schlecht» und somit definitiv zu steil für Landungen sein. In Tabelle 11 ist zusätzlich zur vorherigen Erläuterung nochmals aufgelistet, bei welchen Hangneigungskategorien es aufgrund von Unsicherheiten zu Veränderungen in der Eignung als Landestelle kommen könnte. Da jeweils nicht bekannt ist, ob eine Veränderung eintritt und falls ja, welche, kann bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen für diese Landestellen nicht mehr definiert

werden, ob sie «korrekt» oder «falsch» sind. Aus diesem Grund gestaltet sich die Auswertung und Analyse etwas schwieriger, da teilweise Auswertungsverfahren für Entscheidungen ohne Richtig oder Falsch angewendet werden müssen. Die Auswertungsverfahren, die hier zum Zuge kommen, orientieren sich teilweise an denjenigen der Studie von Kübler (2016), deren Ausgangslage ähnlich ist. Sofern möglich und sinnvoll wird jedoch die Klassierung der Entscheidungen in «sehr falsche», «falsche» und «korrekte» Entscheidungen verwendet.

Tabelle 11: Eignung der verschiedenen Hangneigungskategorien ohne und mit Unsicherheiten.

Hangneigung in °	Kategorie ohne Unsicherheiten	Für Landungen geeignet?	Mögliche Kategorie mit Unsicherheiten	Für Landungen geeignet?
0.0 – 10.0	Ideal	Ja	Ideal, o.k.	Ja
10.1 – 15.0	O.k.	Ja	Ideal, o.k., schlecht	Vielleicht
15.1 – 20.0	Schlecht	Nein	O.k., schlecht, sehr schlecht	Vielleicht
> 20.1	Sehr Schlecht	Nein	Schlecht, Sehr schlecht	Nein

Für ein Teil der Analyse werden wie bei Kübler (2016) die einzelnen Landestellen kategorisiert, sodass schlussendlich die Entscheidungen für die unterschiedlichen Kategorien verglichen werden können. Kategorisiert werden die Landestelle anhand der Ausprägungen der Hangneigung («ideal», «o.k.», «schlecht/sehr schlecht») und der Distanzen zu den Hindernissen («2 x gut», «1 x gut und 1 x zu nahe», «2 x zu nahe»). Von den neun möglichen Kombinationen der Merkmalsausprägungen kommen insgesamt acht Kombinationen in den Karten vor («schlechte / sehr schlechte» Hangneigung in Kombination mit «2 x zu naher» Distanz zu den Hindernissen kommt nicht vor), weshalb es insgesamt acht Kategorien gibt. Diese sind zusammen mit den Merkmalsausprägungen in Tabelle 12 aufgelistet. Gibt es keine Unsicherheitsvisualisierungen, sind die Entscheidungen für die Landestellen der Kategorien 1 bis 3 «sehr falsch» (zwei Kriterien, die gegen die Wahl sprechen), für die Landestellen der Kategorien 4 bis 6 «falsch» (ein Kriterium, das gegen die Wahl spricht) und für die Landestellen der Kategorien 7 und 8 «korrekt» (kein Kriterium, das gegen die Wahl spricht). Die Landestellen der Kategorie 7 sind von der Hangneigung her besser geeignet als diejenigen der Kategorie 8, befinden sich jedoch in jedem Fall weiter weg vom Zielobjekt als die Landestellen der Kategorie 8. Sind die Unsicherheiten dargestellt und befinden sich die Landestellen in Gebieten mit Unsicherheiten, könnte sich die Lösung für die Landestellen der Kategorien 4, 6 und 8 ändern (aufgrund der obigen Erläuterungen, siehe Tabelle 11), sodass diese nachher «sehr falsch», «korrekt» respektive «falsch» sein könnten, was aber nicht sein muss. In den Variantentabellen in Anhang A ist in den ersten Spalten für jede Landestelle eingetragen, welcher Landestellenkategorie sie zugehört.

Tabelle 12: Kategorisierung der Landstellen in acht Kategorien (kurz: Kat.) für die Analyse der Entscheidungen. Die Kategorisierungen der Hangneigungen und Distanzen zu den Hindernissen, die in der zweiten und dritten Spalte zur Anwendung kommen, sind in den Tabelle 5 und Tabelle 6 nochmals nachzuschauen. Die fünfte Spalte sagt aus, wie bei einer Entscheidung ohne Unsicherheiten die Entscheidung für die jeweilige Kategorie bewertet wird. Die sechste und letzte Spalte sagt aus, ob es zu einer Änderung dieser Bewertung kommen könnte, wenn Unsicherheiten visualisiert sind.

Kat.	Hangneigung	Distanz zu Hindernissen	Distanz zu Zielobjekt relativ	Lösung OUV-Entscheidung	Änderung MUV-Entscheidung
1	Schlecht / sehr schlecht	1 gut und 1 x zu nahe		Sehr falsch	Nein
2	O.k.	2 x zu nahe		Sehr falsch	Nein
3	Ideal	2 x zu nahe		Sehr falsch	Nein
4	O.k.	1 gut und 1 x zu nahe		Falsch	Ja
5	Ideal	1 gut und 1 x zu nahe		Falsch	Nein
6	Schlecht / sehr schlecht	2 x gut		Falsch	Ja
7	Ideal	2 x gut	7 > 8	Korrekt	Nein
8	O.k.	2 x gut	8 < 7	Korrekt	Ja

Tabelle 13: Häufigkeiten der einzelnen Landstellenkategorien (kurz: Kat.) in allen 16 Karten und in den je acht Karten ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen.

Kat.	Häufigkeit Total	Häufigkeit pro Kartentyp	Anmerkung
1	20	10	In jeder Karte vorhanden
2	4	2	
3	8	4	
4	8	4	
5	4	2	
6	12	6	
7	20	10	In jeder Karte vorhanden
8	20	10	In jeder Karte vorhanden

Bevor mit der Analyse begonnen werden kann, ist wichtig zu beachten, dass nicht alle Kategorien gleich häufig in den Karten vorkommen. Die Tabelle 13 zeigt die Häufigkeiten, mit denen die Landstellenkategorien in den 16 Karten vertreten sind. Darin ist ersichtlich, dass Landstellen der Kategorien 1, 7 und 8 in allen Karten vorkommen. In jeder Karte gibt es also mindestens zwei «korrekte» Landstellen, wovon eine bei Karten mit Unsicherheitsdarstellungen als «falsch» eingestuft werden könnte.

5.3.2. Analyseverfahren hinsichtlich der Landstellenkategorien

Insgesamt haben wie bereits erwähnt 34 Personen an der Studie teilgenommen, wovon jede 16 kartenbasierte Entscheidungen getroffen hat. Folglich wurden theoretisch total 544 Entscheidungen getroffen. Bei der UZ-Gruppe wurden die Entscheidungsfragen jedoch nach Ablauf des Timers geschlossen, weshalb die tatsächliche Anzahl an Entscheidungen etwas tiefer liegt als die theoretische. Gesamthaft konnten sich die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei 28 Entscheidungsaufgaben (10.29%) nicht vor Ablauf des Timers für eine Landstelle entscheiden. Jedem Teilnehmer geschah dies mindestens einmal, jedoch höchstens viermal. 16 Mal ist der Timer bei OUV-Entscheidungen und 12 Mal bei MUV-Entscheidungen abgelaufen. Die etwas höhere Anzahl bei den OUV-Entscheidungen lässt sich wohl damit erklären, dass die erste Entscheidung bei allen Teilnehmern eine OUV-Entscheidung war und der Timer besonders häufig bei der ersten Frage abgelaufen ist (in 21.43% aller Fälle), da die Teilnehmer mit der Aufgabe noch nicht vertraut waren. Die folgenden Analysen basieren demzufolge nicht auf 544 sondern auf 516 Entscheidungen (272 der OZ- und 244 der UZ-Gruppe).

Um die Entscheidungen mit den im vorherigen Unterkapitel vorgestellten Kategorien auswerten zu können, werden zwei verschiedene von Kübler (2016) entwickelte Analyseverfahren angewendet. Das Analyseverfahren 1 beruht zusammengefasst auf der Zuweisung einer Punktzahl zu jeder Landstellenkategorie, sodass die nominalen Daten der Entscheidungsaufgaben in metrische Daten transformiert werden, mit denen anschliessend Berechnungen angestellt werden können. Konkret wird der Landstellenkategorie 1 die Punktzahl 1, der Landstellenkategorie 2 die Punktzahl 2 usw. zugewiesen. Pro Teilnehmer wird dann eruiert, wie häufig er Landstellen der Kategorie 1, der Kategorie 2 usw. gewählt hat, wobei die Häufigkeiten für OUV- und MUV-Karten separat ermittelt werden. Die Häufigkeiten werden anschliessend mit der jeweiligen Punktzahl multipliziert. Die Häufigkeit, mit der Landstellen der Kategorie 6 in OUV-Karten gewählt wurde, wird beispielsweise mit 6 multipliziert. Pro Kartentyp erhält man so acht Produkte. Diese werden anschliessend summiert und durch 8 dividiert (da jeder Teilnehmer acht OUV- und acht MUV-Entscheidungen getroffen hat). Dies ergibt die durchschnittliche Punktzahl pro Teilnehmer und Entscheidungstyp. Diese durchschnittliche Punktzahl sagt aus, welche Landstellenkategorie ein Teilnehmer im Durchschnitt gewählt hat. Die durchschnittliche Punktzahl kann mit der Tabelle 12 abgeglichen werden, um zu sehen, was für Eigenschaften die durchschnittlich gewählte Landstelle besitzt. Die einzelnen Schritte des beschriebenen Vorgehens werden mit den Daten der Teilnehmerin OZ_T07 im Folgenden für ein besseres Verständnis veranschaulicht.

Tabelle 14: Beispiel des Vorgehens beim Analyseverfahren 1 anhand der Daten der Teilnehmerin OZ_T07. Oben: Eruiieren der Häufigkeiten pro Kategorie, Mitte: Multiplikation der Häufigkeit mit der jeweiligen Punktzahl, unten: Addition der Produkte zur Summe und Division der Summe durch 8 für den Durchschnitt.

	OUV-Entscheidungen								MUV-Entscheidungen							
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Häufigkeit	0	1	1	0	0	0	1	5	0	1	0	1	0	0	4	2

	OUV-Entscheidungen								MUV-Entscheidungen							
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Produkt	0	2	3	0	0	0	7	40	0	2	0	4	0	0	28	16

	OUV-Entscheidungen	MUV-Entscheidungen
Summe	52	50
Durchschnitt	6.50	6.25

Der oberste Teil der Tabelle 14 zeigt links, wie häufig die Teilnehmerin OZ_T07 die Landstellen jeder Kategorie bei OUV-Entscheidungen gewählt hat. Dasselbe ist für die MUV-Entscheidungen rechts davon aufgelistet. Es ist ersichtlich, dass die Teilnehmerin OZ_T07 bei den OUV-Entscheidungen je einmal eine Landstelle der Kategorien 2, 3 und 7 gewählt hat und fünf Mal eine Landstelle der Kategorie 8 (Nebenbemerkung: ein Abgleich mit der Tabelle 12 zeigt, dass sie zwei «sehr falsche» und sechs «korrekte» Entscheidungen getroffen hat). Bei den MUV-Entscheidungen hat sie sich je einmal für eine Landstelle der Kategorien 2 und 4 entschieden, vier Mal für eine Landstelle der Kategorie 7 und zwei Mal für eine der Kategorie 8. In der Mitte der Tabelle sind pro Kategorie die Produkte ersichtlich, die aus der Multiplikation der Häufigkeiten mit den jeweiligen Punktzahlen der Kategorien resultieren. In der Tabelle unten sind schliesslich die zwei Summen aus den Produkten aufgelistet sowie die daraus berechneten durchschnittlichen Punktzahlen. Bei OUV-Entscheidungen beträgt die Summe der Teilnehmerin OZ_T07 52 und bei MUV-Entscheidungen 50. Daraus wird der Durchschnitt berechnet. Im Mittel hat diese Teilnehmerin bei Karten ohne visualisierte Unsicherheiten folglich Landstellen der Kategorie 6.50 (= 52/8) und bei Karten mit visualisierten Unsicherheiten Landstellen der Kategorie 6.25 (=50/8) gewählt.

Mithilfe dieses Verfahrens kann festgestellt werden, ob sich die Entscheidungen im Allgemeinen zwischen den zwei Aufgabentypen unterscheiden, es können jedoch keine konkreten Aussagen gemacht werden, inwiefern diese sich unterscheiden. So kann beispielsweise anhand der durchschnittlichen Punktzahlen von 6.50 und 6.25 keine Aussage darüber gemacht werden, inwiefern genau sich die Teilnehmerin OZ_T07 anders entschieden hat, sondern nur, dass sie wohl etwas häufiger eine tiefere Kategorie gewählt hat bei MUV-Entscheidungen, was den Durchschnitt leicht senkt im Vergleich zu den

OUV-Entscheidungen. Um konkreter zu ermitteln, inwiefern sich die Entscheidungen unterscheiden, muss dieses Analyseverfahren daher mit weiteren Verfahren kombiniert werden.

Abgesehen davon, dass dieses Verfahren nur einen generellen Überblick ermöglicht, birgt es zusätzlich zwei Nachteile (Kübler 2016). Ein erster Nachteil ist, dass es je nach Verteilung der Entscheidungen zu Verzerrungen in der Interpretation kommen könnte. Die Teilnehmerin OZ_T07 hat beispielsweise bei MUV-Entscheidungen eine durchschnittliche Punktzahl von 6.25, was der Landestellenkategorie 6 am nächsten kommt. Oben rechts in Tabelle 14 ist jedoch ersichtlich, dass die Teilnehmerin OZ_T07 sich kein einziges Mal für eine Landestelle der Kategorie 6 entschieden hat. Noch extremer wäre die Verzerrung, wenn sie beispielsweise je zwei Mal eine Landestelle der Kategorien 1, 2, 7 und 8 gewählt hätte, was eine durchschnittliche Punktzahl von 4.5 ergeben hätte, obwohl sie kein einziges Mal eine Landestelle der Kategorien 4 und/oder 5 gewählt hätte. Grundsätzlich gilt bei diesem Verfahren: Je näher die Entscheidungen einer Normalverteilung gleichen, desto weniger Verzerrungen kann es in der Interpretation geben. Zweiter Nachteil dieses Verfahrens ist, dass nicht berücksichtigt wird, dass die verschiedenen Landestellenkategorien unterschiedlich häufig in den Karten vertreten sind, was in Tabelle 13 ersichtlich ist. Dies ist hauptsächlich problematisch, wenn ein Teilnehmer sich zufällig für die Landestellen entschieden hat, da nach der Wahrscheinlichkeitstheorie Objekte, die häufiger vorkommen, eine grössere Wahrscheinlichkeit haben, zufällig ausgewählt zu werden. Diesem Nachteil kann jedoch entgegengewirkt werden, was mit dem Analyseverfahren 2 getan wird.

Generell werden mit dem Analyseverfahren 2 nicht die durchschnittlichen Punktzahlen verglichen, sondern die Häufigkeiten, mit denen die Landestellen der einzelnen Kategorien gewählt wurden. Da nicht alle Landestellenkategorien gleich häufig vorkommen (siehe Tabelle 13), werden die Häufigkeiten, mit denen die Landestellen der jeweiligen Kategorien gewählt wurden, entsprechend der Häufigkeiten, mit denen die Landestellenkategorien insgesamt vorkommen, normalisiert. Durch die Normalisierung sind die Häufigkeiten der gewählten Landestellenkategorien vergleichbar (Kübler 2016). Die normalisierte Häufigkeit wird pro Kategorie folgendermassen berechnet:

$$\text{Normalisierte Häufigkeit} = \text{Gewählte Häufigkeit} / \text{Vorkommenshäufigkeit} \quad (3)$$

Das genaue Vorgehen ist wiederum am Beispiel der Teilnehmerin OZ_T07 in Tabelle 15 veranschaulicht. Darin ist beispielsweise (oben links) ersichtlich, dass sie bei OUV-Entscheidungen nur einmal eine Landestelle der Kategorie 7 gewählt hat, obwohl diese zehn Mal vorkommen würde (Mitte links). Normalisiert hat sie folglich 0.1 Mal eine Landestelle dieser Kategorie gewählt (unten links). Anders ausgedrückt hat die Teilnehmerin OZ_T07 sich bei OUV-Entscheidungen für 10% der zur Auswahl stehenden Landestellen der Kategorie 7 entschieden.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Resultate mithilfe der Analyseverfahren 1 und 2 sowie weiterer Analysemethoden ausgewertet.

Tabelle 15: Beispiel des Vorgehens beim Analyseverfahren 2 anhand der Daten der Teilnehmerin OZ_T07. Oben: Eruiieren der gewählten Häufigkeiten pro Kategorie, Mitte: Häufigkeit, mit der jede Kategorie insgesamt vorkommt, unten: normalisierte Häufigkeit, mit der eine Kategorie gewählt wurde.

	OUV-Entscheidungen								MUV-Entscheidungen							
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Gewählt	0	1	1	0	0	0	1	5	0	1	0	1	0	0	4	2

	OUV-Entscheidungen								MUV-Entscheidungen							
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Vorkommen	10	2	4	4	2	6	10	10	10	2	4	4	2	6	10	10

	OUV-Entscheidungen								MUV-Entscheidungen							
Kategorie	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Normalisiert	0	0.5	0.25	0	0	0	0.1	0.5	0	0.5	0	0.25	0	0	0.4	0.2

5.3.3. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten mithilfe des Analyseverfahrens 1

Entscheidungen ohne Zeitdruck

In einem ersten Schritt soll ermittelt werden, ob Unsicherheitsvisualisierungen einen Einfluss haben auf Entscheidungen ohne Zeitdruck. Es werden also lediglich die Daten der OZ-Gruppe betrachtet. In Abb. 49 sind die durchschnittlichen Punkte für OUV- und MUV-Entscheidungen ersichtlich. Bei OUV-Entscheidungen liegt die durchschnittliche Punktzahl bei 7.32 (Standardabweichung: 0.58) und bei MUV-Entscheidungen bei 7.01 (Standardabweichung: 0.45) Punkte. Für die OUV-Entscheidungen lässt sich somit sagen, dass die Teilnehmer im Durchschnitt Landestellen der Kategorie 7 mit Tendenz zur Kategorie 8 gewählt haben und somit im Durchschnitt «korrekte» Entscheidungen getroffen haben. Bei den MUV-Entscheidungen haben die Teilnehmer im Mittel ebenfalls Landestellen der Kategorie 7 gewählt, jedoch ohne Tendenz zur Kategorie 8, möglicherweise, da sich die Eignung der Landestellen dieser Kategorie mit Unsicherheiten verändern kann.

Ob es einen signifikanten Unterschied zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen gibt, soll mithilfe eines statistischen Tests eruiert werden. Da die durchschnittlichen Punktzahlen der OUV-Entscheidungen von allen Teilnehmern der OZ-Gruppe nicht normalverteilt sind und mithilfe der von Field (2013) vorgeschlagenen Transformationen keine Normalverteilung herbeigeführt werden kann, wird ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Dieser ergibt, dass die durchschnittliche Punktzahl bei den OUV-Entscheidungen signifikant höher ist als bei den MUV-Entscheidungen ($T = 20.50$, $p = 0.024$, $r = -0.55$). Die Teilnehmer entscheiden sich folglich bei Entscheidungen ohne zeitliche Einschränkungen anders, wenn es Unsicherheitsvisualisierungen in den Karten hat als wenn es keine hat.

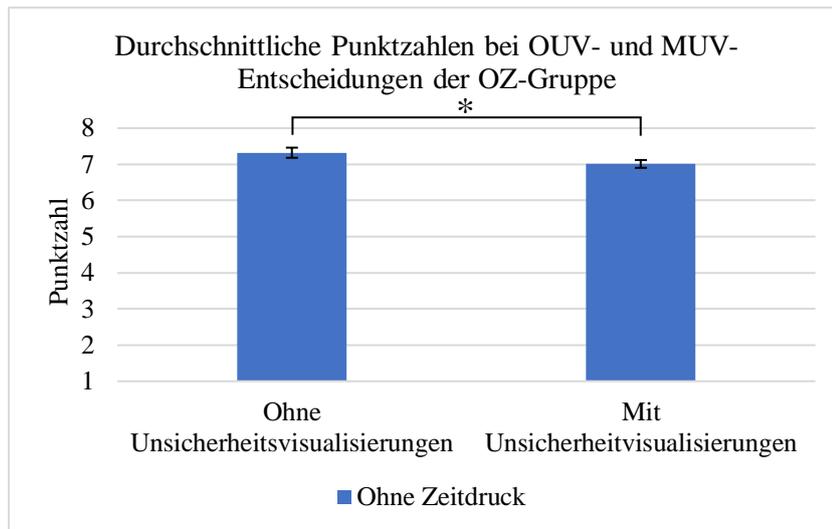


Abb. 49: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck

Es konnte bereits festgestellt werden, dass es einen Unterschied zwischen Entscheidungen ohne und mit visualisierten Unsicherheiten gibt, wenn die Teilnehmer nicht unter Zeitdruck stehen. In diesem Abschnitt wird analysiert, ob dies auch bei Entscheidungen unter Zeitdruck beobachtet werden kann. Die durchschnittlichen Punktzahlen für die OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe sind in Abb. 50 ersichtlich. Die durchschnittliche Punktzahl bei OUV-Entscheidungen liegt bei 6.29 (Standardabweichung: 0.85) und mit 6.22 (Standardabweichung: 0.78) ist sie nur minimal tiefer bei MUV-Entscheidungen. Im Schnitt haben die Teilnehmer der UZ-Gruppe also sowohl bei Karten ohne wie auch mit Unsicherheiten Landstellen der Kategorie 6 gewählt mit leichter Tendenz zur Kategorie 7. Ein t-Test für abhängige Stichproben ergibt, dass es – anders als bei der OZ-Gruppe – keine signifikanten Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen gibt ($T = 0.24$, $df = 16$, $p = 0.818$).

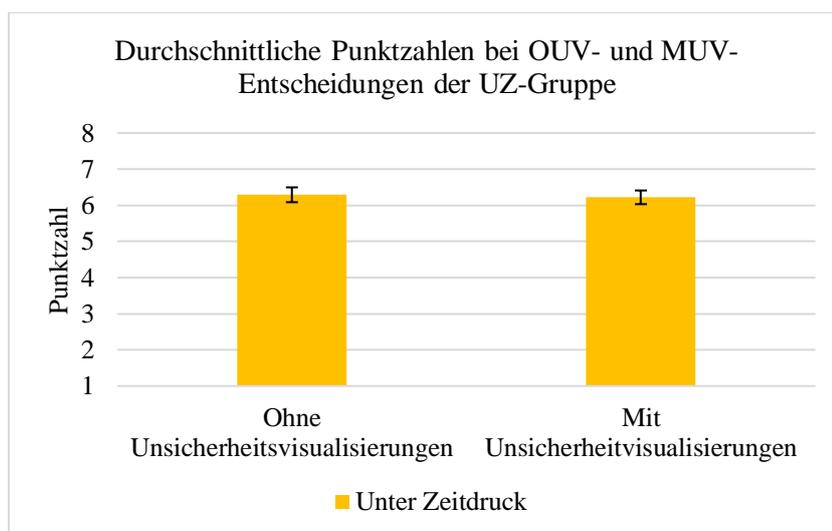


Abb. 50: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck im Vergleich

Da die durchschnittlichen Punktzahlen bei OUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe nicht normalverteilt sind und weder bei den durchschnittlichen Punktzahlen aller OUV- noch bei denen aller MUV-Entscheidungen Varianzhomogenität vorliegt, somit also mehrere Voraussetzungen für eine mixed ANOVA nicht erfüllt sind, wurden die durchschnittlichen Punktzahlen für die OZ- und die UZ-Gruppe separat analysiert. An dieser Stelle wird allerdings dennoch eine 2x2 mixed ANOVA durchgeführt, um zu analysieren, ob Zeitdruck einen Effekt auf die durchschnittliche Punktzahl hat. Die mixed ANOVA zeigt, dass es einen signifikanten Haupteffekt bezüglich der Teilnehmergruppe gibt ($F(1, 32) = 26.47$, $p < 0.001$, $r = 0.67$). Demnach sind die durchschnittlichen Punktzahlen der UZ-Gruppe generell tiefer als diejenigen der OZ-Gruppe. Die Entscheidungsart hat hingegen keinen signifikanten Effekt auf die durchschnittlichen Punktzahlen ($F(1, 32) = 1.45$, $p = 0.237$). Mithilfe des t-Test konnte jedoch gezeigt werden, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe gibt. Womöglich wird dieser Effekt in der mixed ANOVA nicht angezeigt, da mehrere Voraussetzungen nicht erfüllt sind. Schliesslich zeigt die mixed ANOVA, dass ein keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Entscheidungsart und der Teilnehmergruppe gibt ($F(1, 32) = 0.594$, $p = 0.447$).

5.3.4. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten mithilfe des Analyseverfahrens 2

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Im vorherigen Kapitel hat sich mit dem Analyseverfahren 1 gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe aufgrund der Unsicherheitsvisualisierungen andere Entscheidungen getroffen haben. Welche Landestellen sie jedoch bei welcher Entscheidungsart tatsächlich gewählt haben und somit, inwiefern sich die Entscheidungen genau unterscheiden, konnte nicht festgestellt werden. In diesem Unterkapitel soll dies daher mithilfe des Analyseverfahrens 2 untersucht werden.

In Abb. 51 sind die durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten pro Landestellenkategorie dargestellt. Es zeigt sich, dass die Landestellen der Kategorien 1, 3, 5, und 6 sowohl bei OUV- wie auch bei MUV-Entscheidungen von der OZ-Gruppe kaum gewählt wurden. Es handelt sich dabei, wie Tabelle 12 zeigt, um Landestellen von Kategorien, die ohne Unsicherheiten alle als «sehr falsch» oder «falsch» einzustufen sind. Die Landestellen der Kategorie 2 wurden etwas vermehrt gewählt, wobei sie bei beiden Entscheidungsarten gleich häufig gewählt wurden. Diese Landestellen sind ebenfalls als «sehr falsch» einzustufen, da die Abstände zu zwei verschiedenen Hindernissen zu gering sind. Schliesslich wählten die Teilnehmer bei OUV-Entscheidungen kaum Landestellen der Kategorie 4, während sie sich bei MUV-Entscheidungen des Öfteren für Landestellen dieser Kategorie entschieden. Landestellen dieser Kategorie befinden sich jeweils zu nahe bei einem Hindernis, deren Hangneigungen sind jedoch als «o.k.» einzustufen. Mit Unsicherheiten könnten die Hangneigungen dieser Landestellen folglich als «schlecht» oder sogar «ideal» gelten. Besonders häufig entschieden sich die Teilnehmer bei beiden Entscheidungsarten für die Landestellen der Kategorien 7 und 8. Landestellen der Kategorie 7 wurden bei

OUV-Entscheidungen im Durchschnitt mit einer normalisierten Häufigkeit von 0.22 und bei MUV-Entscheidungen mit einer normalisierten Häufigkeit von 0.42 gewählt. Landestellen der Kategorie 8 wurden durchschnittlich mit normalisierten Häufigkeiten von 0.52 bei OUV- und 0.30 bei MUV-Entscheidungen gewählt. Während bei OUV-Entscheidungen die Landestellen der Kategorie 7 die zweite und Landestellen der Kategorie 8 die erste Wahl sind, verhält es sich bei MUV-Entscheidungen folglich gerade umgekehrt. Beide Landestellenkategorien sind bei Entscheidungen ohne Unsicherheiten als «korrekt» zu klassieren. Bei Landestellen der Kategorie 7 sind die Hangneigungen «ideal» und bei solchen der Kategorie 8 «o.k.», die Landestellen der Kategorie 7 sind jedoch weiter vom Zielobjekt entfernt als diejenigen der Kategorie 8 (siehe Tabelle 12).

Um zu überprüfen, ob die beschriebenen Unterschiede signifikant sind, werden die durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten pro Landstellenkategorie zwischen den OUV- und den MUV-Entscheidungen mithilfe von Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests verglichen (alle Daten sind nicht normalverteilt, abgesehen von den Daten der Kategorie 7 bei MUV-Entscheidungen). Die Vergleiche zeigen, dass bei den Landstellenkategorien 7 und 8 sich die normalisierten Häufigkeiten bei OUV-Entscheidungen signifikant von denjenigen bei MUV-Entscheidungen unterscheiden und diese Effekte gross sind (Kat. 7: $T = 120.50$, $p = 0.006$, $r = -0.66$, Kat. 8: $T = 6.50$, $p = 0.006$, $r = 0.66$). Zwischen den normalisierten Häufigkeiten der anderen Kategorien gibt es keine signifikanten Unterschiede, die Landstellen dieser Kategorien wurden also bei beiden Entscheidungsarten gleich häufig gewählt (Kat. 1: $T = 0.00$, $p = 0.317$, Kat. 2: $T = 1.5$, $p = 1.00$, Kat. 3: $T = 0.0$, $p = 0.317$; Kat. 4: $T = 18.00$, $p = 0.096$; Kat. 5: $T = 0.00$, $p = 1.00$; Kat. 6: $T = 0.00$, $p = 0.317$).

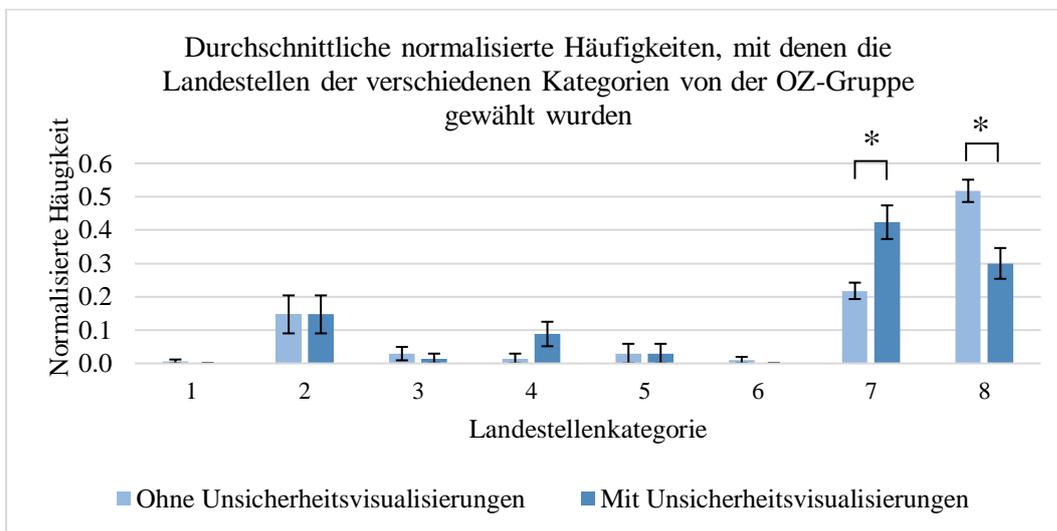


Abb. 51: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der OZ-Gruppe gewählt wurden (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck

Mit dem Analyseverfahren 1 konnten bei der UZ-Gruppe anders als bei der OZ-Gruppe keine Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen festgestellt werden. Um zu überprüfen, ob es

tatsächlich keine Unterschiede gibt, oder diese nur mit dem Analyseverfahren 1 aufgrund seiner Nachteile nicht aufgezeigt werden konnten, werden in diesem Abschnitt die durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien von der UZ-Gruppe gewählt wurden, verglichen.

In Abb. 52 ist zu sehen, dass das Muster generell ähnlich ist wie bei den Entscheidungen der OZ-Gruppe (siehe Abb. 51). Die Landstellen der Kategorien 1, 3, 5 und 6 wurden sowohl bei OUV- wie auch bei MUV-Entscheidungen kaum gewählt. Anders als bei der OZ-Gruppe wählte die UZ-Gruppe die Landstellen der Kategorie 2 deutlich häufiger bei OUV- als bei MUV-Entscheidungen. Einen Unterschied zwischen den zwei Entscheidungsarten scheint es auch bezüglich der Entscheidungen für die Landstellen der Kategorie 4 zu geben. Bei OUV-Entscheidungen wurde nie eine Landstelle der Kategorie 4 gewählt, bei MUV-Entscheidungen hingegen einige Male. Bei den Entscheidungen für Landstellen der Kategorien 7 und 8 gibt es wie bei der OZ-Gruppe deutliche Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen, wobei das Muster das gleiche ist wie bei der OZ-Gruppe. Bei OUV-Entscheidungen wurden deutlich die Landstellen der Kategorie 8 und bei MUV-Entscheidungen diejenigen der Kategorie 7 bevorzugt.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests (alle Daten sind nicht normalverteilt) zeigen, dass die beschriebenen Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen bei den Kategorien 2, 4, 7 und 8 mit mittleren bis grossen Effektstärken signifikant sind (Kat. 2: $T = 0.00$, $p = 0.034$, $r = -0.54$, Kat. 4: $T = 10.00$, $p = 0.046$, $r = 0.61$; Kat. 7: $T = 104.00$, $p = 0.012$, $r = 0.61$, Kat. 8: $T = 12.00$, $p = 0.006$, $r = -0.67$). Anders als bei der OZ-Gruppe gibt es also auch bezüglich der Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der Kategorien 2 und 4 gewählt wurden, statistisch höchst signifikante Unterschiede. Keine Unterschiede sind bei den Kategorien 1, 3, 5 und 6 auszumachen (Kat. 1: $T = 1.00$, $p = 0.317$, Kat. 3: $T = 14.00$, $p = 0.414$, Kat. 5: $T = 1.50$, $p = 1.00$, Kat. 6: $T = 4.00$, $p = 0.564$).

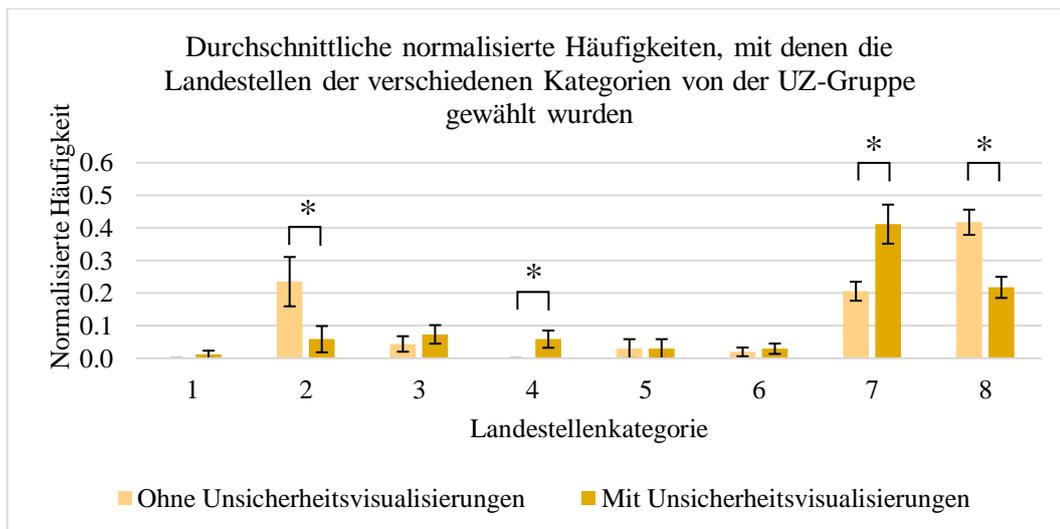


Abb. 52: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der UZ-Gruppe gewählt wurden (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.3.5. Korrektheit der Entscheidungen bei Entscheidungen ohne Unsicherheiten

Da bei den Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen klar definiert werden kann, ob eine Entscheidung «sehr falsch», «falsch» oder «korrekt» ist (siehe Tabelle 12), wird in diesem Kapitel untersucht, ob es einen Unterschied in der Korrektheit der OUV-Entscheidungen zwischen der OZ- und der UZ-Gruppe gibt. Dazu werden pro Gruppe die Anzahl «sehr falscher» (Summe der Anzahl Entscheidungen für die Kategorien 1, 2 und 3), «falscher» (Summe der Anzahl Entscheidungen für die Kategorien 4, 5 und 6) und «korrekter» (Summe der Anzahl Entscheidungen für die Kategorien 7 und 8) Entscheidungen ermittelt. Links in der Tabelle 16 ist ersichtlich, wie viele «sehr falsche», «falsche» und «korrekte» Entscheidungen beide Gruppen getroffen haben. Da die UZ-Gruppe aufgrund der abgelaufenen Timer 16 Entscheidungen weniger getroffen hat als die OZ-Gruppe, sind die Zahlen nicht direkt vergleichbar. Rechts in der Tabelle 16 ist daher angegeben, wie viel Prozent aller OUV-Entscheidungen pro Gruppe «sehr falsch», «falsch» und «korrekt» sind. Hier ist nun ersichtlich, dass die UZ-Gruppe etwas mehr «sehr falsche» und etwas weniger «korrekte» Entscheidungen getroffen hat als die OZ-Gruppe, während beide etwa gleich viele «falsche» Entscheidungen getroffen haben. Ein exakter Test nach Fisher (es liegen zwei erwartete Zellohäufigkeiten kleiner als 5 vor) zeigt jedoch, dass es keine signifikanten Differenzen in der Korrektheit der Entscheidungen zwischen der OZ- und der UZ-Gruppe gibt ($p = 0.583$). Die Teilnehmer der UZ-Gruppe haben also nicht falschere Entscheidungen getroffen als diejenigen der OZ-Gruppe.

Tabelle 16: Vergleich der Korrektheit zwischen OUV-Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe. Links: Absolute Anzahl «sehr falscher», «falscher» und «korrekter» Entscheidungen pro Gruppe, rechts: Prozentsatz «sehr falsch», «falscher» und «korrekter» Entscheidungen aller OUV-Entscheidungen pro Gruppe.

Korrektheit der Entscheidung	Anzahl		Prozent vom Gruppentotal	
	Ohne Zeitdruck	Unter Zeitdruck	Ohne Zeitdruck	Unter Zeitdruck
Sehr falsch	8	11	5.88	9.17
Falsch	3	3	2.21	2.5
Korrekt	125	106	91.91	88.33
Total	136	120	100	100

5.3.6. Vergleich der gewählten Landstellenarten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten

Bei Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen gibt es Landstellen ohne und mit Unsicherheiten. Die Teilnehmer können sich daher grundsätzlich für zwei Arten von Landstellen entscheiden. Bei Landstellen ohne Unsicherheiten kann wiederum unterschieden werden, ob es sich um «falsche» (Landstellen der Kategorien 1 bis 6, einfachheitshalber gelten hier «sehr falsche» und «falsche» Entscheidungen zusammen als «falsche» Entscheidungen) oder um «korrekte» (Landstellen der Kategorien 7 und 8) Landstellen handelt. Bei Landstellen mit Unsicherheiten kann nicht mehr definiert werden, wie kor-

rekt sie insgesamt sind, es kann jedoch bestimmt werden, ob die Distanzen zu allen Hindernissen genügend gross sind. Bei diesen Ladestellen kann folglich ebenfalls gewissermassen unterschieden werden, ob es sich um «falsche» oder «korrekte» Landstellen handelt, wobei sich die Korrektheit lediglich auf die Abstände zu den Hindernissen bezieht und die Hangneigungen nicht berücksichtigt werden. In diesem Abschnitt sollen diese Kategorisierungen angewendet werden, um die MUV-Entscheidungen etwas genauer zu untersuchen. Im Detail soll ermittelt werden, ob von beiden Gruppen häufiger Landstellen ohne Unsicherheiten gewählt wurden und ob sich die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei MUV-Entscheidungen grundsätzlich für andere Landstellenarten entschieden haben als die Teilnehmer der UZ-Gruppe.

Tabelle 17: Anzahl mit der jede Landstellenart insgesamt in den acht Karten mit visualisierten Unsicherheiten vorkommt.

Landstellenart	Anzahl Landstellen in allen MUV-Karten
Ohne Unsicherheit: falsch	14
Ohne Unsicherheit: korrekt	11
Total ohne Unsicherheit	25
Mit Unsicherheit: Distanzen gut (korrekt)	12
Mit Unsicherheit: Distanzen zu nahe (falsch)	11
Total mit Unsicherheit	23
Total	48

Wie in der Tabelle 17 ersichtlich ist, sind von den 48 Landstellen, die jeder Teilnehmer in den acht Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen zur Auswahl hatte, 25 in Gebieten ohne Unsicherheiten und 23 in Gebieten mit Unsicherheiten, wobei es pro Karte mindestens zwei und höchstens vier Landstellen in unsicheren Gebieten gibt. Von diesen 23 Landstellen sind zwölf zu nahe bei einem oder mehreren Hindernissen und sollten folglich nicht gewählt werden. Die restlichen elf Landstellen mit Unsicherheiten haben genügend Abstand zu den Hindernissen und könnten gewählt werden. Von den Landstellen ohne Unsicherheiten sind 14 «falsch» und elf «korrekt».

Für die Analyse wird pro Teilnehmer eruiert, wie häufig er welchen Landstellentyp gewählt hat. Die aufsummierten Häufigkeiten pro Gruppe sind in Tabelle 18 ersichtlich. Da die Teilnehmer der UZ-Gruppe zwölf MUV-Entscheidungen weniger getroffen haben als die OZ-Teilnehmer, sind die Prozente vom Gruppentotal aussagekräftiger. Sie zeigen, dass die Teilnehmer beider Gruppen häufiger Landstellen in Regionen ohne Unsicherheiten als in Regionen mit Unsicherheiten gewählt haben. Bei den Teilnehmern der UZ-Gruppe ist dieser Trend jedoch stärker beobachtbar als bei denjenigen der OZ-Gruppe, die sich doch in 40.44% aller MUV-Entscheidungen für Landstellen in unsicheren Gebieten entschieden haben. Bei Entscheidungen für Landstellen in Regionen ohne Unsicherheiten haben die Teilnehmer der UZ-Gruppe prozentual etwas mehr falsche Entscheidungen getroffen als die Teilnehmer

der OZ-Gruppe, insgesamt wurden aber wenige Entscheidungen für solche Landstellen getroffen. Die Teilnehmer beider Gruppen scheinen sich hingegen etwa gleich häufig für Landstellen mit Unsicherheiten, aber zu geringen Abständen entschieden zu haben.

Um zu erfahren, ob die Teilnehmer beider Gruppen signifikant häufiger Landstellen ohne Unsicherheiten gewählt haben, werden in einem ersten Schritt für beide Gruppen getrennt die normalisierten Häufigkeiten, mit denen Landstellen ohne und mit Unsicherheiten gewählt wurden, verglichen (normalisiert an der unterschiedlichen Anzahl, mit der beide Arten von Landstellen insgesamt vorkommen). Für die Daten der OZ-Gruppe wird dafür ein t-Test für verbundene Stichproben eingesetzt und für diejenigen der UZ-Gruppe ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (die Daten sind nicht normalverteilt). Diese Tests zeigen, dass weder die Teilnehmer der OZ-Gruppe ($T = 1.06$, $df = 16$, $p = 0.306$) noch die der UZ-Gruppe signifikant häufiger Landstellen ohne Unsicherheiten gewählt haben ($T = 38.00$, $p = 0.068$).

In einem zweiten Schritt wird getestet, ob die beschriebenen Unterschiede zwischen den zwei Gruppen statistisch signifikant sind. Dazu werden zwei Pearson-Chi-Quadrat-Tests durchgeführt. Beim ersten Test wird getestet, ob die Teilnehmer der zwei Gruppen sich unterschiedlich häufig für Landstellen ohne oder mit Unsicherheiten entschieden haben, ohne dabei auf die zusätzlichen Differenzierungen der Landstellen einzugehen. Dieser Test zeigt, dass es keinen signifikanten Zusammenhang gibt zwischen der Gruppenzuteilung und den Häufigkeiten, mit denen Landstellen in Regionen mit Unsicherheiten gewählt oder eben nicht gewählt wurden ($\chi^2 = 1.873$, $df = 1$, $p = 0.198$). Beim zweiten Pearson-Chi-Quadrat-Test werden die Häufigkeiten der vier Unterkategorien verglichen. Auch dieser zeigt, dass es keinen signifikanten Zusammenhang gibt zwischen der Gruppenzuteilung und den gewählten Landstellen in Bezug auf die vier Unterkategorien ($\chi^2 = 2.869$, $df = 3$, $p = 0.412$). Die Teilnehmer beider Gruppen haben sich also bei MUV-Entscheidungen etwa gleich häufig für Landstellen in sicheren bzw. unsicheren Gebieten entschieden.

Tabelle 18: Absolute Anzahl und Prozentsatz der gewählten Landstellen in Regionen ohne und mit Unsicherheit bei MUV-Entscheidungen

Landstellentyp	Anzahl Entscheidungen		Prozent vom Gruppentotal	
	OZ	UZ	OZ	UZ
Ohne Unsicherheit: falsch	3	6	2.21	4.84
Ohne Unsicherheit: korrekt	78	78	57.35	62.90
Total ohne Unsicherheit	81	84	59.56	67.74
Mit Unsicherheit: Abstände falsch	10	8	7.35	6.45
Mit Unsicherheit: Abstände korrekt	45	32	33.09	25.81
Total mit Unsicherheit	55	40	40.44	32.26
Gruppentotaltotal	136	124	100	100

5.3.7. Vergleich der Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten von Gruppen mit unterschiedlichen räumlichen Denkfähigkeiten mithilfe des Analyseverfahrens 1

Im ersten Teil der Hauptstudie lösten die Teilnehmer einen Papierfalttest, mit welchem ihre räumliche Denkfähigkeit ermittelt wurde. Der Papierfalttest wurde bereits im Kapitel 5.2.2. ausgewertet. In diesem Kapitel wird nun untersucht, ob die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten der Teilnehmer hat. Dazu werden alle Teilnehmer in die zwei Gruppen «tiefe räumliche Denkfähigkeit» und «hohe räumliche Denkfähigkeit» eingeteilt. Die Einteilung geschieht mittels Median-Split, da dieses Verfahren bereits häufig in ähnlichen Fällen angewendet wurde (z.B. von Wilkening und Fabrikant 2011, Frei 2015 oder Kübler 2016). Der Median beträgt 12.78 Punkte. Die 17 Teilnehmer mit einem Punktetotal unter diesen 12.78 Punkten werden in die Gruppe mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit und die 17 Teilnehmer mit einem Punktetotal über 12.78 Punkte in die Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit eingeteilt (in Abb. 47 ist ersichtlich, welche Teilnehmer weniger und welche mehr Punkte als der Median erzielten). Da die OZ- und die UZ-Gruppe in Bezug auf ihre räumliche Denkfähigkeit gleich abschnitten (siehe Kapitel 5.2.2.), sind die Teilnehmer beider Gruppen in beiden räumlichen Denkfähigkeitsgruppen etwa gleich häufig vertreten. Von der OZ-Gruppe werden 9 Teilnehmer in die Gruppe mit tiefer räumlichen Denkfähigkeit und 8 Teilnehmer in die Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit eingeteilt. Bei der UZ-Gruppe verhält es sich genau umgekehrt, 8 Teilnehmer werden in die Gruppe mit tiefer und 9 in die Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit eingeteilt.

Um zu untersuchen, ob die räumliche Denkfähigkeiten einen Einfluss auf die Entscheidungen hat, werden die durchschnittlichen Punktzahlen pro Entscheidungsart und pro räumliche Denkfähigkeitsgruppe ermittelt und anschliessend verglichen. Dies wird für die OZ- und die UZ-Gruppe getrennt durchgeführt.

Entscheidungen ohne Zeitdruck

In Abb. 53 sind die durchschnittlichen Punktzahlen pro Entscheidungsart und räumliche Denkfähigkeitsgruppe für die Teilnehmer der OZ-Gruppe dargestellt. Sowohl bei OUV- wie auch bei MUV-Entscheidungen liegen die durchschnittlichen Punktzahlen beider Denkfähigkeitsgruppen nahe beieinander. Bei OUV-Entscheidungen betragen die Mittelwerte 7.28 und 7.36 Punkte (Standardabweichungen: 0.65 und 0.53) für die Gruppen mit tiefer und hoher räumlichen Denkfähigkeit. Bei den MUV-Entscheidungen betragen die durchschnittlichen Punktzahlen 6.93 und 7.12 (Standardabweichungen: 0.46 und 0.44) und sind somit grundsätzlich etwas tiefer als bei den OUV-Entscheidungen, ein Phänomen, das bereits im Unterkapitel 5.3.3. erkannt wurde. Da die durchschnittlichen Punktzahlen aller Teilnehmer der Gruppe mit tiefer räumlichen Denkfähigkeit bei OUV-Entscheidungen nicht normalverteilt sind, werden alle vier Verteilungen in einem ersten Schritt einer Umkehrtransformation (die Punktzahl 8 wird zur Punktzahl 1 und umgekehrt) und in einem zweiten Schritt einer Log-Transformation unterzogen, wie Field (2013) dies vorschlägt für nicht normalverteilte Daten mit negativer Skewness. Durch diese Transformationen sind alle vier Verteilungen normalverteilt, sodass eine 2x2 mixed ANOVA durchgeführt

werden kann. Die mixed ANOVA ergibt, dass es keinen signifikanten Haupteffekt bezüglich der räumlichen Denkfähigkeitsgruppe gibt ($F(1, 15) = 0.305, p = 0.589$). Demnach sind die durchschnittlichen Punktzahlen von den Teilnehmern mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit generell gleich wie diejenigen der Teilnehmer mit hoher räumlicher Denkfähigkeit. Weiteres Ergebnis ist, dass die Entscheidungsart einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche Punktzahl hat ($F(1, 15) = 6.804, p = 0.02, r = 0.48$), was bedeutet, dass die Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungen signifikant beeinflussen. Dies wurde bereits in Unterkapitel 5.3.3. festgestellt und hier somit bestätigt. Schliesslich ergibt die mixed ANOVA, dass es keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Entscheidungsart und der räumlichen Denkfähigkeitsgruppe gibt ($F(1, 15) = 0.0144, p = 0.710$).

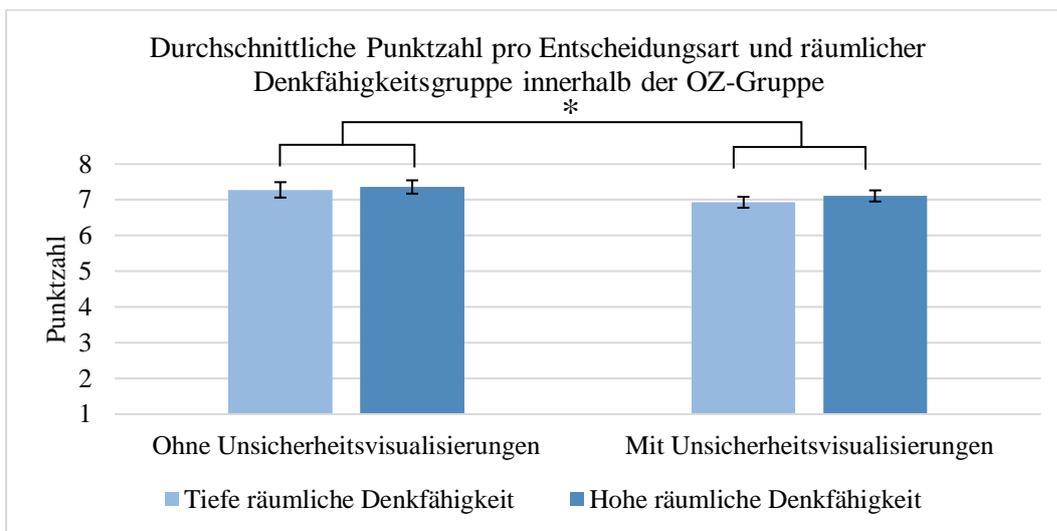


Abb. 53: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen zwischen Teilnehmern mit tiefer und hoher räumlicher Denkfähigkeit innerhalb der OZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die durchschnittlichen Punktzahlen pro Entscheidungsart und räumliche Denkfähigkeitsgruppe für die Teilnehmer der UZ-Gruppe sind in Abb. 54 visualisiert. Die durchschnittlichen Punktzahlen bei OUV-Entscheidungen sind 6.19 (Standardabweichung: 0.33) bei der Gruppe mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit und 6.38 (Standardabweichung: 0.27) bei der Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit. Bei MUV-Entscheidungen sind die Werte nicht – wie bisher mehrmals beobachtet – grundsätzlich tiefer als bei OUV-Entscheidungen, sondern nur bei der Gruppe mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit. Deren durchschnittliche Punktzahl beträgt 5.83 (Standardabweichung: 0.30). Die durchschnittliche Punktzahl der Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit ist sowohl höher als diejenige bei OUV-Entscheidungen wie auch als diejenige der Gruppe mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit und beträgt 6.57 (Standardabweichung: 0.18). Bei der UZ-Gruppe macht es den Anschein, als ob zumindest bei MUV-Entscheidungen die Teilnehmer mit einer hohen räumlichen Denkfähigkeit etwas andere Entscheidungen getroffen haben als die Teilnehmer mit einer tiefen räumlichen Denkfähigkeit. Um diese Vermutung statistisch zu überprüfen, wird abermals eine 2x2 mixed ANOVA durchgeführt. Da die durchschnittlichen Punktzahlen der Gruppe mit hoher räumlicher Denkfähigkeit bei MUV-Entscheidungen nicht normalverteilt

sind und durch keine gängige Transformation eine Normalverteilung herbeigeführt werden kann, wird eine mixed ANOVA mit teilweise nicht normalverteilten Daten durchgeführt, was bedeutet, dass die Voraussetzungen des Tests teilweise verletzt werden. Obwohl die F-Statistik unter Umständen robust gegenüber Verletzung der Normalverteilung ist, muss bei der Interpretation damit gerechnet werden, dass sie fehlerbehaftet ist, besonders da die Gruppengrößen in diesem Fall nicht gleich sind. Da es sich bei der nicht normalverteilten Grösse um eine platykurtische (flachgipflige) Verteilung handelt, ist die Rate, einen Fehler 1. Art zu begehen (die Nullhypothese wird zurückgewiesen, obwohl sie in Wirklichkeit wahr ist), erhöht (Field 2013).

Die 2x2 mixed ANOVA ergibt, dass anders als bei der OZ-Gruppe die Entscheidungsart generell keinen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche Punktzahl hat ($F(1, 15) = 0.085$, $p = 0.775$), was die Erkenntnisse aus Unterkapitel 5.3.3. bekräftigt. Weiteres Ergebnis ist, dass es wie bei der OZ-Gruppe knapp keinen signifikanten Haupteffekt bezüglich der räumlichen Denkfähigkeitsgruppe gibt ($F(1, 15) = 3.197$, $p = 0.094$). Demnach sind entgegen der Erwartung die durchschnittlichen Punktzahlen von Teilnehmern mit tiefer räumlicher Denkfähigkeit gleich wie diejenigen von Teilnehmern mit hoher räumlicher Denkfähigkeit. Schlussendlich ergibt die mixed ANOVA, dass es keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Entscheidungsart und der räumlichen Denkfähigkeitsgruppe gibt ($F(1, 15) = 0.957$, $p = 0.343$).

Zusammengefasst hat also weder bei der OZ-Gruppe noch bei der UZ-Gruppe die räumliche Denkfähigkeit, so wie sie mit dem Papierfalttest von Ekstrom *et al.* (1976) gemessen wird, einen Einfluss auf die kartenbasierten Entscheidungen sowohl ohne wie auch mit Unsicherheitsvisualisierungen.

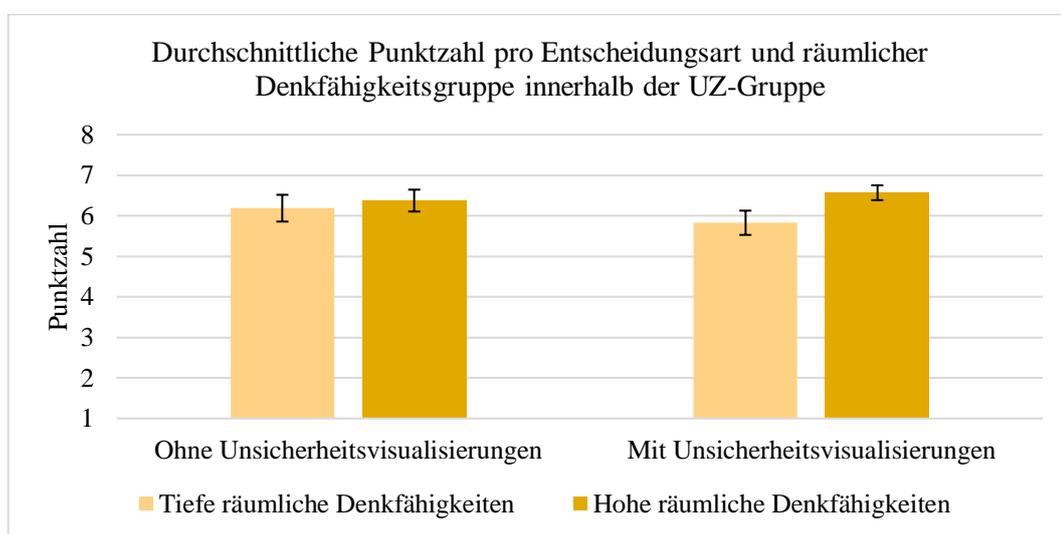


Abb. 54: Vergleich der durchschnittlichen Punktzahlen von OUV- und MUV-Entscheidungen zwischen Teilnehmern mit tiefer und hoher räumlicher Denkfähigkeit innerhalb der UZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.3.8. Vergleich der Entscheidungssicherheit bei Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten

Nach jeder kartenbasierten Entscheidung wurden die Teilnehmer gebeten, auf einer fünfteiligen Skala anzugeben, wie sicher sie sich in ihrer vorherigen Entscheidung sind. Mithilfe dieser Daten wird

in diesem Unterkapitel analysiert, ob Unsicherheitsvisualisierungen einen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit haben. Für die Analyse werden den fünf möglichen Antworten die Werte 1 bis 5 zugeordnet (siehe Tabelle 18). Wenn bei der UZ-Gruppe ein Teilnehmer aufgrund eines abgelaufenen Timers keine Entscheidung treffen konnte, so musste er auch keine Aussage darüber machen, wie sicher er sich in seiner Entscheidung ist. Dementsprechend gibt es einige fehlende Werte in diesem Datensatz. Zuerst werden die Entscheidungssicherheiten der unterschiedlichen Entscheidungsarten für beide Gruppen verglichen. Anschliessend wird analysiert, ob die Korrektheit der Antworten mit der Entscheidungssicherheit korreliert.

Tabelle 19: Fünfteilige Antwortskala auf die Frage nach der Entscheidungssicherheit mit zugeordneten Werten.

Antwort	Zugewiesener Wert
Sehr unsicher	1
Etwas unsicher	2
Neutral	3
Sicher	4
Sehr sicher	5

Vergleich der Entscheidungssicherheiten bei OUV- und MUV-Entscheidungen

Für den Vergleich der Entscheidungssicherheiten wird pro Teilnehmer je die durchschnittliche Entscheidungssicherheit für alle OUV- und MUV-Entscheidungen berechnet. Die Durchschnittswerte bei der Gruppen pro Entscheidungsart sind in Abb. 55 ersichtlich. Die durchschnittliche Entscheidungssicherheit für OUV-Entscheidungen liegt bei der OZ-Gruppe bei 3.57 Punkten (Standardabweichung: 0.64) und bei der UZ-Gruppe etwas tiefer bei 3.3 Punkten (Standardabweichung: 0.78). Mit 3.33 Punkten (Standardabweichung: 0.65) bei der OZ- und 3.17 Punkten (Standardabweichung: 0.87) bei der UZ-Gruppe sind die durchschnittlichen Entscheidungssicherheiten grundsätzlich etwas tiefer bei den MUV-Entscheidungen. Es scheint, als ob die Teilnehmer im Durchschnitt bei Entscheidungen ohne Zeitdruck etwas sicherer in ihrer Entscheidung sind als bei Entscheidungen unter Zeitdruck. Zudem scheinen sie durchschnittlich etwas sicherer bei Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen als bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen zu sein, unabhängig davon, welcher Gruppe sie angehören. Die Unterschiede bewegen sich jedoch im Zehntelbereich. Um zu überprüfen, ob die Unterschiede signifikant sind, wird eine 2x2 mixed ANOVA durchgeführt. Diese ergibt keine signifikanten Resultate, was bedeutet, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen ($F(1, 32) = 0.856, p = 0.362$) sowie zwischen den Entscheidungsarten ($F(1,32) = 4.096, p = 0.088$) nicht signifikant sind. Auch gibt es keinen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Entscheidungsart und der Gruppe ($F(1,32) = 0.356, p = 0.555$). Dies impliziert, dass Teilnehmer, die unter Zeitdruck stehen, sich gleich sicher sind in ihrer Antwort wie Teilnehmer, die beliebig viel Zeit für ihre Entscheidung zur Verfügung haben. Zeitdruck hat also hier keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit. Es bedeutet ausserdem, dass Teilnehmer sich ihrer

Entscheidung gleich sicher sind, unabhängig davon, ob in den Karten Unsicherheiten dargestellt sind oder nicht. Die Unsicherheitsvisualisierung hat also ebenfalls keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit.

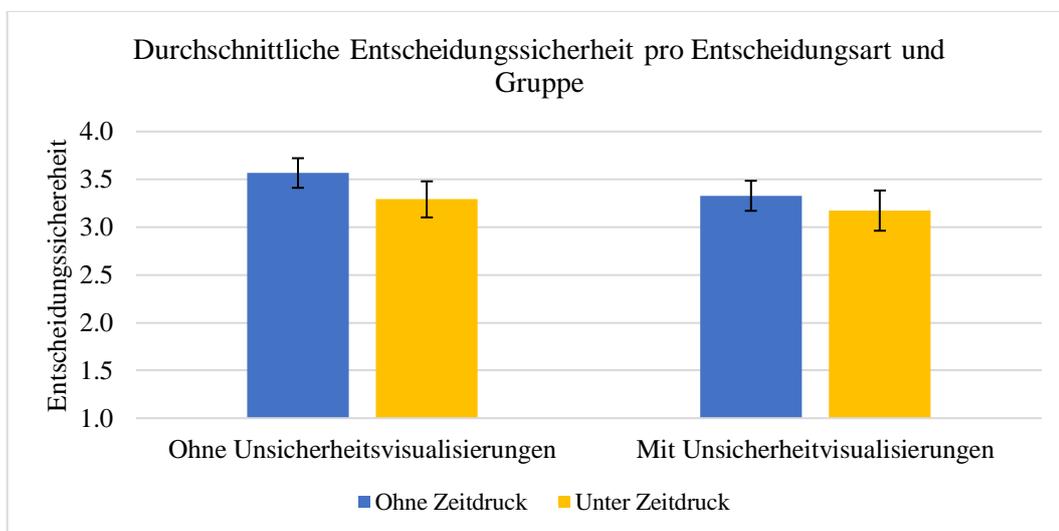


Abb. 55: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungssicherheiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe (1 = «sehr unsicher», 5 = «sehr sicher», Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Korrelation zwischen der Entscheidungssicherheit und der Korrektheit der Entscheidung (bei OUV-Entscheidungen)

Die Entscheidungssicherheit isoliert zu betrachten, ist nur bis zu einem gewissen Grad sinnvoll, denn wird eine Aufgabe falsch gelöst, ist diese nur wenig aussagekräftig (Wilkening 2012). Um zu untersuchen, ob sich die Teilnehmer hinsichtlich OUV-Entscheidungen bei korrekten Entscheidungen sicherer fühlen als bei falschen und ob es bei MUV-Entscheidungen einen Zusammenhang gibt zwischen der Entscheidungssicherheit und der gewählten Landstellenart (sichere oder unsichere Landstelle), werden in diesem und nächsten Abschnitt Korrelationsanalysen (jeweils separat für die OZ- und UZ-Gruppe) durchgeführt.

Für die Durchführung der Korrelationsanalysen werden die Antworten jeder einzelnen OUV-Entscheidungsaufgabe wieder in die drei Kategorien «sehr falsch», «falsch» und «korrekt» eingeteilt. Um diese zu quantifizieren, wird der Kategorie «sehr falsch» der Wert 1, der Kategorie «falsch» der Wert 2 und der Kategorie «korrekt» der Wert 3 zugewiesen. Die Entscheidungssicherheit wird abermals nach dem Schema in Tabelle 19 quantifiziert. Da es sich bei der Korrektheit der Entscheidung um eine ordinale Variable handelt, werden nichtparametrische Korrelationsanalysen durchgeführt. Im Detail wird Kendalls τ als Korrelationskoeffizient berechnet, da viele Werte demselben Rang zugewiesen werden und in diesem Fall Kendalls τ zu bevorzugen ist (Field 2013).

Die Rangkorrelationsanalysen ergeben, dass sowohl bei der OZ- wie auch bei der UZ-Gruppe kein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der Korrektheit der Entscheidung und der Entscheidungssicherheit (OZ-Gruppe: $\tau = -0.024$, $p = 0.758$, UZ-Gruppe: $\tau = -0.112$, $p = 0.178$). Teilnehmer

fühlen sich in ihrer Entscheidung also weder sicherer, wenn es sich um eine korrekte Entscheidung handelt, noch unsicherer, wenn es sich um eine «falsche» oder «sehr falsche» Entscheidung handelt.

Korrelation zwischen der Entscheidungssicherheit und der gewählten Landstellenart (bei MUV-Entscheidungen)

Da es bei den Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen kein Richtig oder Falsch gibt, wird nun untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Entscheidungssicherheit und der Wahl bzw. der Nicht-Wahl einer Landestelle in unsicheren Regionen besteht. Damit soll ermittelt werden, ob sich Teilnehmer, wenn sie sich für eine Landestelle in unsicheren Regionen entscheiden statt für eine Option in einer Region ohne Unsicherheiten, sicherer oder weniger sicher fühlen in ihrer Entscheidung. Für die Durchführung der Korrelationsanalysen werden die gewählten Landstellen in die binäre Variable «Landestelle mit Unsicherheit» und «Landestelle ohne Unsicherheit» umklassiert, wie dies bereits in Kapitel 5.3.6. (siehe Tabelle 17) gemacht wurde (die Feingliederung, die dort angewendet wurde, ist hier nicht relevant). Anschliessend werden ihnen die Werte 0 und 1 zugeordnet. Die Entscheidungssicherheit wird wiederum nach dem Schema in Tabelle 19 quantifiziert. Daraufhin werden abermals zwei Rangkorrelationen mit Kendalls τ als Korrelationskoeffizient berechnet.

Die Rangkorrelationsanalysen ergeben unterschiedliche Ergebnisse für die zwei Gruppen. Bei der OZ-Gruppe gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Entscheidungssicherheit und der Art der gewählten Landstellen ($\tau = 0.309$, $p < 0.001$, $r = 0.47$). Da der τ -Wert positiv ist, handelt es sich um einen gleichsinnigen Zusammenhang. Ein gleichsinniger Zusammenhang impliziert hier, dass die Entscheidungssicherheit umso grösser ist, je grösser der Wert der Landstellenvariable (0 = ohne Unsicherheit, 1 = mit Unsicherheit) ist. In diesem Fall bedeutet das, dass sich ein Teilnehmer – nach seiner Angabe – sicherer ist in seiner Entscheidung, wenn eine Landestelle in Regionen mit Unsicherheiten gewählt wird. Bei der UZ-Gruppe gibt es anders als bei der OZ-Gruppe keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der gewählten Landstellenart und der Entscheidungssicherheit ($\tau = -0.036$, $p = 0.661$).

5.3.9. Vergleich der Entscheidungszeiten bei ohne und mit Unsicherheiten

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Wie in Kapitel 2.8.4. erläutert, gibt es unterschiedliche Studienergebnisse bezüglich des Einflusses von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungszeit. In diesem Abschnitt wird für die Entscheidungen der OZ-Gruppe daher untersucht, ob die Teilnehmer bei MUV-Entscheidungen langsamer, gleich schnell oder möglicherweise gar schneller zu einer Entscheidung kommen als bei OUV-Entscheidungen.

Bevor pro Teilnehmer und Entscheidungsart die durchschnittliche Entscheidungszeit berechnet wird, wird die durchschnittliche Entscheidungszeit pro Entscheidung analysiert, um zu wissen, ob die Teilnehmer bei allen Entscheidungen innerhalb einer Entscheidungsart etwa gleich lange brauchten oder ob

es bereits innerhalb einer Entscheidungsart zwischen den einzelnen Entscheidungen grössere Zeitdifferenzen gibt. Die durchschnittlichen Entscheidungszeiten pro Entscheidung sind für die OUV- und MUV-Entscheidungen in Abb. 56 ersichtlich.

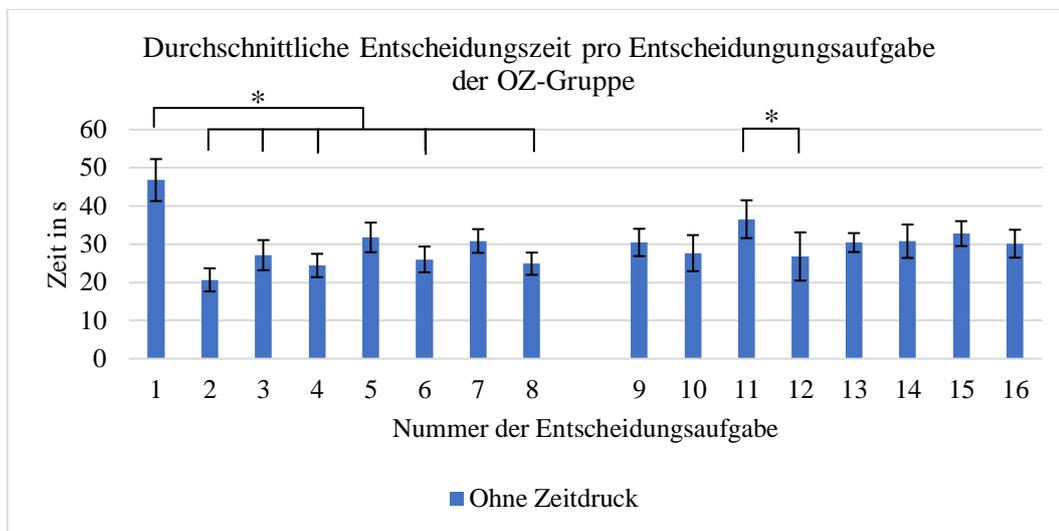


Abb. 56: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten aller Entscheidungsaufgaben der OZ-Gruppe. Die Entscheidungsaufgaben 1 bis 8 sind OUV-Entscheidungen und die Entscheidungsaufgaben 9 bis 16 sind MUV-Entscheidungen (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

In dieser Grafik ist zu sehen, dass innerhalb der OUV-Entscheidungen besonders die Entscheidungsaufgabe 1 hervorsteht, da die Teilnehmer für diese Entscheidung im Mittel anscheinend deutlich länger brauchten als für die restlichen OUV-Entscheidungen. Ein Friedman-Test (es liegen keine Normalverteilungen vor) für die acht OUV-Entscheidungen zeigt, dass sich die Mittelwerte signifikant unterscheiden ($\chi^2(7) = 41.811, p < 0.001$). Um zu untersuchen, welche Entscheidungsaufgaben sich signifikant von den anderen unterscheiden, werden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests als Folgeanalyse durchgeführt. Diese Folgeanalyse ergibt, dass sich die Entscheidungsaufgabe 1 mit jeweils grossen Effektstärken signifikant von den OUV-Entscheidungsaufgaben 2, 3, 4, 6 und 8 unterscheidet (1-2: $T = 4.91, p < 0.001, r = 1.00$; 1-3: $T = 3.56, p = 0.001, r = 0.73$; 1-4: $T = 3.79, p < 0.001, r = 0.77$; 1-6: $T = 3.21, p < 0.001, r = 0.65$; 1-8: $T = 3.35, p = 0.002, r = 0.68$). Da in der Studie sichergestellt wurde, dass alle Teilnehmer zuerst eine Entscheidungsaufgabe ohne Unsicherheitsvisualisierungen lösten, war die Entscheidungsaufgabe 1 bei allen Teilnehmern die allererste Entscheidungsaufgabe, die sie zu lösen hatten. Alle darauffolgenden Entscheidungsaufgaben traten in randomisierter Reihenfolge auf. Bei der ersten Entscheidungsaufgabe hatten die Teilnehmer trotz ausführlicher Einleitung und einer Probeaufgabe deutlich länger als bei den restlichen Entscheidungen. Um zu untersuchen, ob es Unterschiede zwischen den Entscheidungszeiten von OUV- und MUV-Entscheidungen gibt, wird aufgrund der soeben gewonnenen Erkenntnis die Entscheidungsaufgabe 1 von der gesamten Analyse ausgeschlossen, da sie das Ergebnis verzerren würde.

Um zu überprüfen, ob sich bei den MUV-Entscheidungen ebenfalls eine oder mehrere Entscheidungen in ihren mittleren Entscheidungszeiten signifikant von den anderen unterscheiden, wird für die MUV-Entscheidungen ebenfalls ein Friedman-Test durchgeführt. Dieser zeigt ebenfalls an, dass sich

die MUV-Entscheidungen signifikant voneinander unterscheiden ($\chi^2(7) = 18.013, p = 0.012$). Die Folgeanalyse mit Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests zeigt, dass sich lediglich die Entscheidungsaufgaben 211 und 12 bezüglich ihrer mittleren Entscheidungszeit signifikant unterscheiden (11-12: $T = 2.92, p < 0.11, r = 0.61$). Eine Entscheidungsaufgabe, die sich deutlich von allen anderen unterscheidet, so wie das bei den OUV-Entscheidungen der Fall ist, gibt es jedoch bei den MUV-Entscheidungen nicht. Für den Vergleich der Entscheidungszeiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen können folglich alle MUV-Entscheidungsaufgaben berücksichtigt werden.

Um zu untersuchen, ob es Unterschiede zwischen den Entscheidungszeiten der OUV- und der MUV-Entscheidungen gibt, wird pro Teilnehmer und Aufgabenart die durchschnittliche Entscheidungszeit berechnet, woraus wiederum je ein Mittelwert für alle OUV- und alle MUV-Entscheidungen berechnet wird. Zum Mittelwert der OUV-Entscheidungen tragen pro Teilnehmer aus dem soeben erläuterten Grund sieben Entscheidungen bei und zu demjenigen der MUV-Entscheidungen deren acht. Die durchschnittlichen Entscheidungszeiten für OUV- und MUV-Entscheidungen sind in Abb. 57 dargestellt. Im Mittel brauchten die Teilnehmer für die OUV-Entscheidungen 26.44s (Standardabweichung: 9.22s) und für die MUV-Entscheidungen 30.63s (Standardabweichung: 13.57s). Es scheint, als ob die Teilnehmer für die MUV-Entscheidungen länger benötigten als für die OUV-Entscheidungen. Um dies zu überprüfen, wird ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt (beide Variablen sind nicht normalverteilt). Dieser bestätigt die aufgestellte Vermutung, indem er zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Entscheidungszeiten bei Aufgaben ohne und mit Unsicherheiten gibt, wobei der beobachtete Effekt gross ist ($T = 135.00, p < 0.001, r = 0.88$). Die Unsicherheitsvisualisierungen führten folglich klar dazu, dass die Teilnehmer länger brauchten, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Mithilfe der *Eye Tracker*-Daten wird im Kapitel 5.3.10. untersucht, was mögliche Gründe für diesen Unterschied sind.

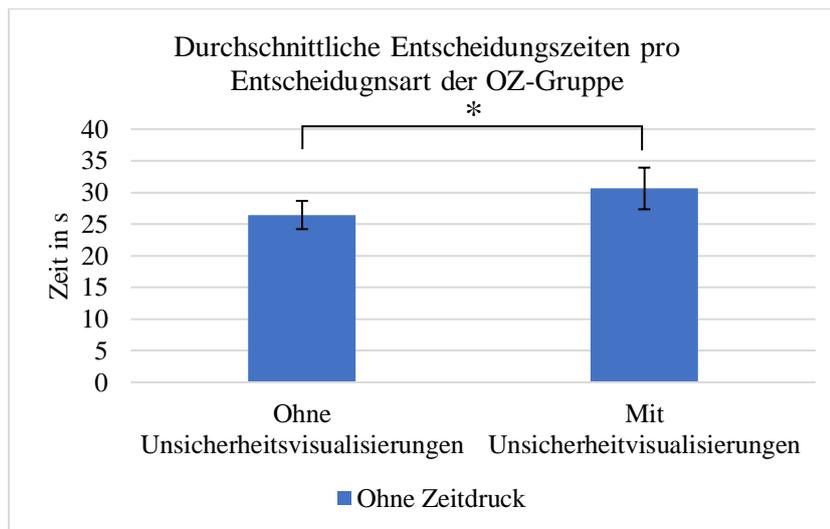


Abb. 57: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten für die OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe (Mittelwerte ± 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die Teilnehmer der UZ-Gruppe hatten zwar ein Zeitlimit, innerhalb dem sie zu einer Entscheidung kommen mussten, sie konnten jedoch jederzeit vor Ablauf dieses Limits eine Entscheidung fällen, weshalb sich die Entscheidungszeiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen auch bei der UZ-Gruppe theoretisch unterscheiden könnten. Im Folgenden wird daher untersucht, ob es wie bei der OZ-Gruppe Differenzen in den Entscheidungszeiten zwischen den zwei Entscheidungsarten gibt.

Wie bei den Daten der OZ-Gruppe wird zuerst mithilfe je eines Friedman-Tests analysiert, ob sich die durchschnittlichen Entscheidungszeiten der einzelnen Entscheidungsaufgaben, die in Abb. 58 visualisiert sind, innerhalb der OUV- und MUV-Entscheidungen deutlich voneinander unterscheiden. Der Test zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen OUV-Entscheidungsaufgaben gibt ($\chi^2(7) = 10.414$, $p = 0.166$). Obwohl die Entscheidungsaufgabe 1 auch bei der UZ-Gruppe für alle Teilnehmer die erste Entscheidungsaufgabe war, brauchten die Teilnehmer dafür nicht deutlich länger, soweit dies innerhalb des Zeitlimits überhaupt möglich war. Zwischen den einzelnen MUV-Entscheidungsaufgaben kann jedoch ein signifikanter Unterschied ausgemacht werden ($\chi^2(7) = 22.310$, $p = 0.002$). Die Folgeanalyse mit Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests zeigt, dass lediglich zwischen den mittleren Entscheidungszeiten der Aufgaben 12 und 13 ein signifikanter Unterschied festzustellen ist (12-13: $T = -4.063$, $p = 0.025$, $r = 0.60$). Dies stellt keinen Grund dar, einzelne Entscheidungsaufgaben aus der Analyse auszuschließen. Für den Vergleich der Entscheidungszeiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen werden also alle Entscheidungsaufgaben berücksichtigt.

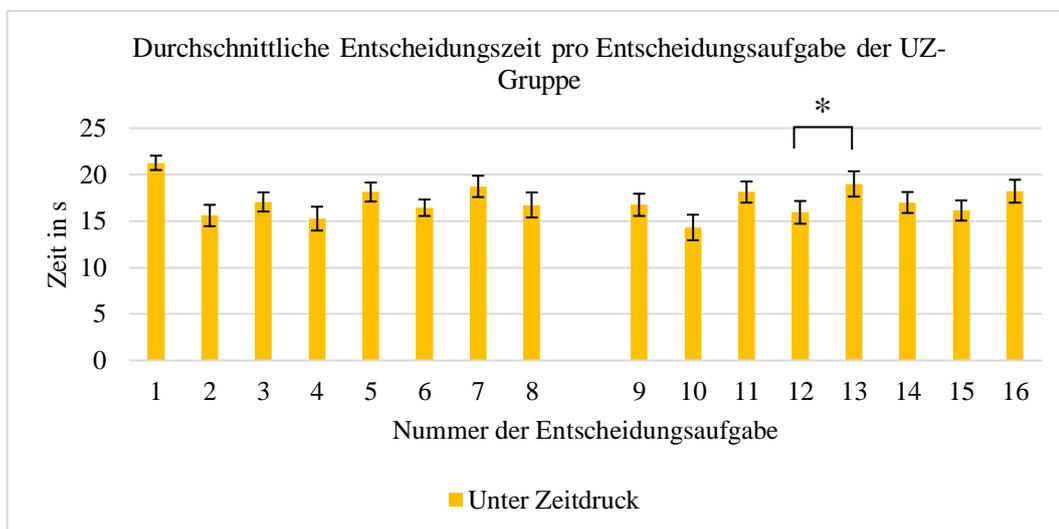


Abb. 58: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten aller Entscheidungsaufgaben der UZ-Gruppe. Die Entscheidungsaufgaben 1 bis 8 sind OUV-Entscheidungen und die Entscheidungsaufgaben 9 bis 16 sind MUV-Entscheidungen (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Wie in Abb. 59 ersichtlich ist, liegen die Mittelwerte mit 15.24s (Standardabweichung: 2.93s) bei OUV- und 15.39s (Standardabweichung: 2.17s) bei MUV-Entscheidungen extrem nahe beieinander, sodass kaum ein Unterschied ausmachbar ist. Ein t-Test für verbundene Stichproben bestätigt, dass es keinen signifikanten Unterschied in den Entscheidungszeiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen bei der UZ-Gruppe gibt ($T = -0.21$, $df = 16$, $p = 0.834$).

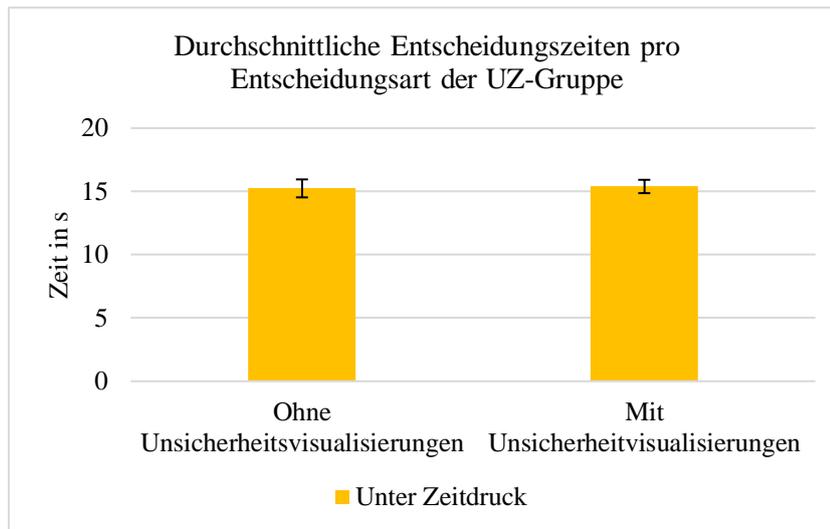


Abb. 59: Vergleich der durchschnittlichen Entscheidungszeiten für die OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.3.10. Analyse der Entscheidungsprozesse bei Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten auf der Ebene der gesamten Kartenansicht mithilfe der *Eye Tracker*-Daten

Bei der Analyse der Entscheidungszeiten im vorherigen Kapitel hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe signifikant länger brauchten, um zu einer Entscheidung zu gelangen, wenn Unsicherheiten visualisiert waren. In diesem Kapitel soll mithilfe der *Eye Tracker*-Daten herausgefunden werden, was mögliche Gründe für die längeren Entscheidungszeiten bei MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe sind, und weshalb es möglicherweise bei der UZ-Gruppe keine Unterschiede in den Entscheidungszeiten zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen gab. Es handelt sich dabei um eine erste Analyse der Entscheidungsprozesse.

Aufbereitung der Eye Tracker-Daten

Um die Entscheidungszeiten der zwei Entscheidungsarten mithilfe der *Eye Tracker*-Daten detaillierter zu untersuchen, wird, wie dies üblich ist in der *Eye Tracker*-Forschung, die gesamte Ansicht, die die Teilnehmer bei jeder Entscheidung sahen, in verschiedene *Areas of Interest* (kurz: AOIs) unterteilt. AOIs sind Regionen im Stimulus, an denen der Forscher besonders interessiert ist (Popelka *et al.* 2012). Die sieben hier verwendeten AOIs sind in Abb. 60 ersichtlich. Es sind im Detail: (1) die gesamte Karte, (2) der Massstab, (3) die Legende zur Hangneigung, (4) die Legende zu den Hindernissen, (5) die Legende zu den Landstellen, (6) die sechs Auswahloptionen sowie (7) der Speicherknopf. Die AOIs sind bei OUV- und MUV-Karten genau gleich, abgesehen davon, dass bei MUV-Karten die Legende zur Hangneigung etwas ausführlicher ist und daher das AOI dementsprechend ebenfalls etwas grösser ausfällt.

Für die Analyse werden pro Entscheidung, Teilnehmer und AOI mithilfe von Tobii Studio 3.4.7 die zwei Messgrößen *Visit Count* und *Total Visit Duration* berechnet, wobei abermals die Entscheidungsaufgabe 1 bei der OZ-Gruppe von der Analyse ausgeschlossen wird. Der *Visit Count* gibt die Anzahl Besuche in einem AOI an (Tobii Technology 2014), also wie häufig ein Teilnehmer in ein AOI geschaut

hat. Hat ein Teilnehmer beispielsweise sehr lange die Karte betrachtet, dann direkt die Auswahloptionen und anschliessend den Speicherknopf, ist der *Visit Count* für diese drei AOIs jeweils nur 1. Hat er beispielsweise einmal zwischen der Karte und den Auswahloptionen hin und her gewechselt erhöht sich der *Visit Count* der Karte und der Auswahloptionen auf 2. Hat ein Teilnehmer ein AOI nie angeschaut ist der *Visit Count* 0. Die *Total Visit Duration* gibt die Dauer aller Besuche in einem AOI in Sekunden an (Tobii Technology 2014).

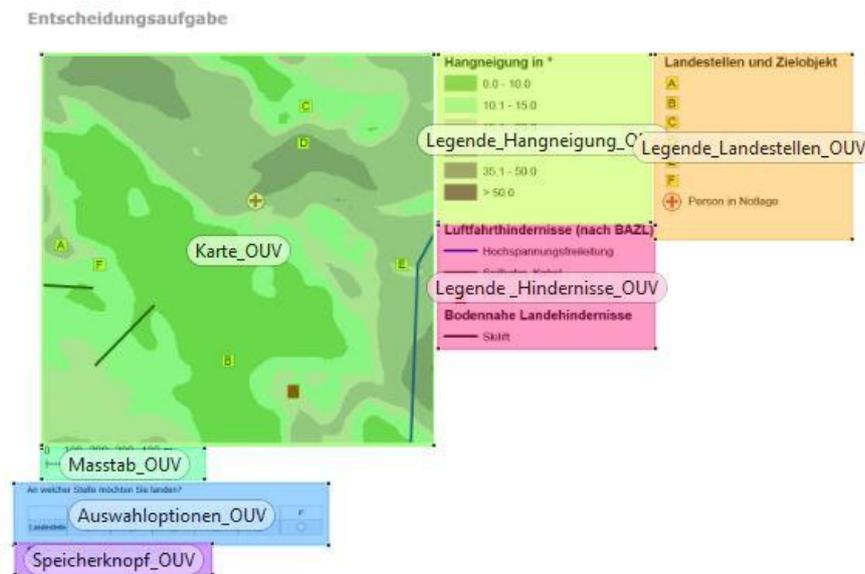


Abb. 60: Unterteilung der Ansicht in sieben verschiedene AOIs (Region: Bergün).

Entscheidungen ohne Zeitdruck: Visit Counts

In Abb. 61 sind die durchschnittlichen *Visit Counts* für alle AOIs separat für OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe dargestellt. Die Teilnehmer betrachteten bei beiden Entscheidungsarten am häufigsten die Karte mit durchschnittlich 9.87 (Standardabweichung: 1.12) bzw. 10.41 Besuchen (Standardabweichung: 1.43). Die restlichen AOIs wurden im Mittel stets weniger als vier Mal besucht. Klare Unterschiede in den Häufigkeiten, mit denen die verschiedenen AOIs besucht wurden, scheint es zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen nicht zu geben. Diese Annahme wird mithilfe von Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests (mehrere Variablen sind nicht normalverteilt). Diese zeigen, dass die Annahme teilweise falsch ist, da sich die durchschnittlichen *Visit Counts* bei der Legende zur Hangneigung zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen signifikant mit grosser Effektstärke unterscheiden ($T = 138.50$, $p = 0.003$, $r = 0.71$). Bei MUV-Entscheidungen haben die Teilnehmer der OZ-Gruppe also signifikant häufiger (durchschnittlich 3.29 Mal) die Legende zur Hangneigung betrachtet als bei OUV-Entscheidungen (durchschnittlich 2.18 Mal). Bei den restlichen AOIs sind keine signifikanten Unterschiede in den *Visit Counts* auszumachen (Karte: $T = 102.00$, $p = 0.227$, Masstab: $T = 42.00$, $p = 0.179$, Legende Hindernisse, $T = 54.00$, $p = 0.286$, Legende Landestellen: $T = 63.00$, $p = 0.865$; Auswahloption: $T = 45.00$, $p = 0.136$, Speicherknopf: $T = 52.00$, $p = 0.649$).

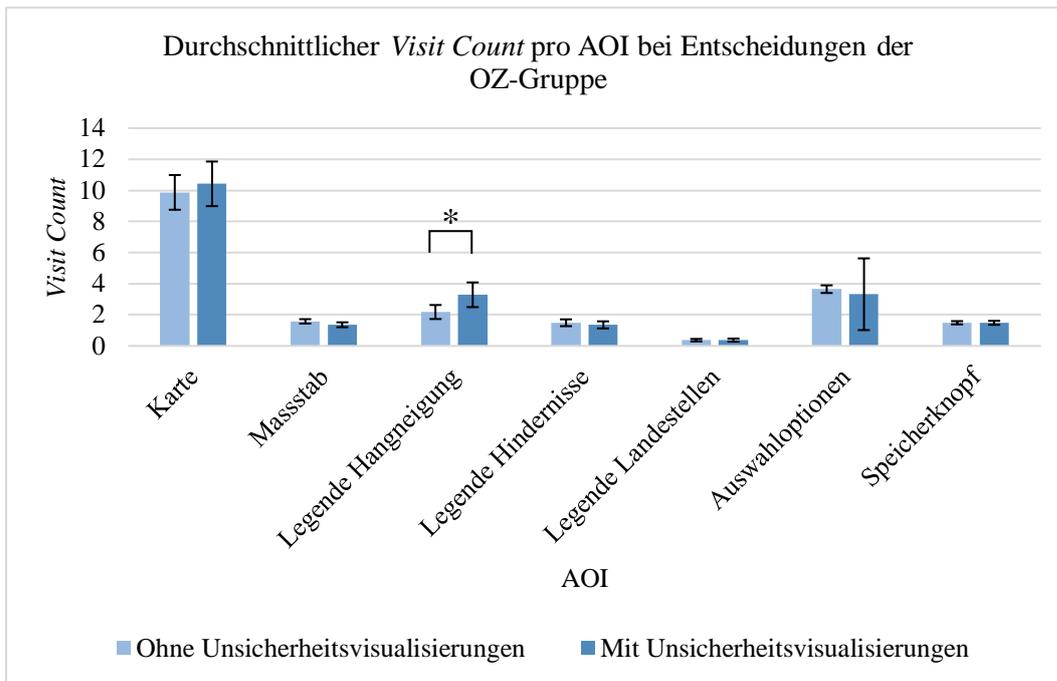


Abb. 61: Vergleich der durchschnittlichen *Visit Counts* aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen ohne Zeitdruck: Total Visit Durations

Anschliessend an die Analyse der *Visit Counts* werden in diesem Abschnitt die *Total Visit Durations* analysiert. Die durchschnittlichen *Total Visit Durations* sind in Abb. 62 ersichtlich, wobei zu beachten ist, dass die Skalen der linken und rechten Grafik aufgrund grosser Unterschiede in den Werten verschieden sind. Vergleicht man die durchschnittlichen *Total Visit Durations* der OUV- und MUV-Entscheidungen scheint es deutliche Unterschiede bei den AOIs Legende zur Hangneigung und Legende zu den Hindernissen zu geben, wobei bei der Legende zur Hangneigung die *Total Visit Duration* bei MUV-Entscheidungen länger ist und bei der Legende zu den Hindernissen bei OUV-Entscheidungen. Etwas länger bei MUV- als bei OUV-Entscheidungen ist die *Total Visit Duration* auch bei dem AOI Karte, der Unterschied scheint jedoch nicht so markant zu sein wie bei den anderen zwei AOIs. Um zu untersuchen, ob es sich um signifikante Unterschiede handelt, werden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests (mehrere Variablen sind nicht normalverteilt) durchgeführt. Diese zeigen, dass sich die durchschnittlichen *Total Visit Durations* zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen signifikant unterscheiden bei den AOIs Karte, Legende zur Hangneigung, Legende zu den Hindernissen und Speicherknopf (Karte: $T = 120.00$, $p = 0.039$, $r = 0.5$, Legende Hangneigung: $T = 153.00$, $p < 0.001$, $r = 0.88$, Legende Hindernisse: $T = 0.00$, $p < 0.001$, $r = -0.88$, Speicherknopf: $T = 119.00$, $p = 0.044$, $r = 0.49$), wobei der Effekt beim AOI Speicherknopf mittel ist und bei den übrigen AOIs gross. Keine signifikanten Unterschiede gibt es bei den AOIs Massstab, Landstellen und Auswahloption (Massstab: $T = 39.00$, $p = 0.076$, Legende Landstellen: $T = 85.50$, $p = 0.147$, Auswahloption: $T = 66.00$, $p = 0.619$).

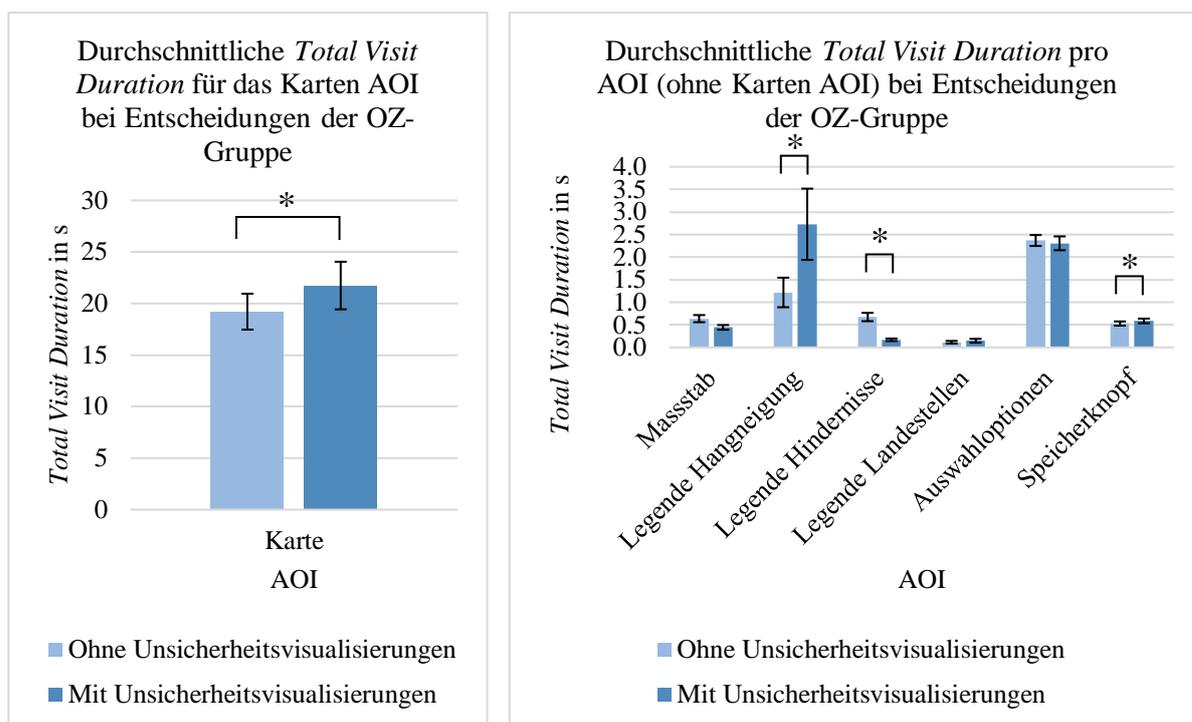


Abb. 62: Vergleich der durchschnittlichen *Total Visit Durations* aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe. Links: Karten AOI, rechts: übrige sechs AOIs (Achtung: unterschiedliche Größenordnungen auf den y-Achsen, Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck: Visit Counts

In vorherigen Unterkapitel hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe im Durchschnitt gleich lange brauchten für Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen. In diesem Abschnitt werden die *Visit Counts* pro AOI auf dieselbe Weise wie bei der OZ-Gruppe analysiert, um zu erfahren, ob es auch bei einer differenzierteren Betrachtung keine Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen gibt.

In der Abb. 63 sind die durchschnittlichen *Visit Counts* pro AOI ersichtlich. Wie die Teilnehmer der OZ-Gruppe (siehe Abb. 61) betrachteten die Teilnehmer der UZ-Gruppe am häufigsten die Karten während der Massstab, die Legende zu den Hindernissen und die Legende zu den Landestellen im Mittel weniger als einmal Mal betrachtet wurden. Lediglich bei den AOIs Karte und Auswahloptionen scheint es kleinere Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen zu geben. Um zu überprüfen, ob diese Unterschiede statistisch signifikant sind und ob es noch andere Differenzen gibt, werden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt (mehrere Variablen sind nicht normalverteilt). Diese zeigen, dass bei MUV-Entscheidungen die Teilnehmer der UZ-Gruppe signifikant weniger häufig die Bereiche der Karte, des Massstabs, der Hindernislegende sowie der Auswahloptionen betrachtet haben (Karte: $T = 17.50$, $p = 0.009$, $r = -0.63$, Legende Hindernisse: $T = 18.50$, $p = 0.01$, $r = -0.63$, Auswahloption: $T = 12.50$, $p = 0.004$, $r = -0.7$, Massstab: $T = 17.00$, $p = 0.002$, $r = -0.77$). Bei den restlichen AOIs gibt es keine Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen (Legende Hangneigung: $T = 45.50$, $p = 0.405$, Legende Landestellen: $T = 21.00$, $p = 0.153$, Speicherknopf: $T = 96.00$, $p = 0.355$).

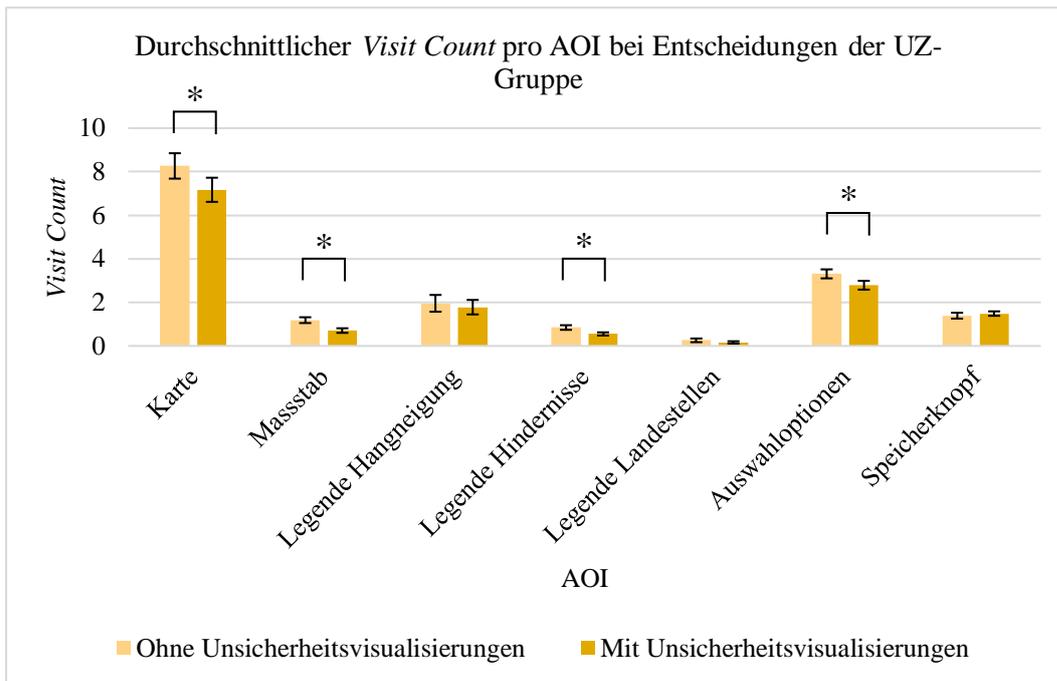


Abb. 63: Vergleich der durchschnittlichen *Visit Counts* aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck: Total Visit Durations

Bei der Analyse der *Visit Counts* hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe einige AOIs weniger häufig betrachteten bei MUV-Entscheidungen als bei OUV-Entscheidungen. Mithilfe der Analyse der *Total Visit Durations* soll untersucht werden, ob es nicht nur bezüglich der Häufigkeit, sondern auch der Dauer der Betrachtung der AOIs Unterschiede gibt. Die durchschnittlichen *Total Visit Durations* pro AOI sind in der Abb. 64 graphisch dargestellt. Wie zu erwarten war, wurde die Karte bei beiden Entscheidungsarten deutlich länger betrachtet als alle übrigen AOIs. Wie bei der OZ-Gruppe (siehe Abb. 62) wurden von den übrigen AOIs hauptsächlich die Legende zur Hangneigung und die Auswahloptionen etwas länger betrachtet. Um zu vergleichen, ob es Unterschiede zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen gibt, werden abermals Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt (mehrere Verteilungen sind nicht normalverteilt). Diese zeigen, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe den Masstab sowie die Auswahloptionen signifikant kürzer betrachtet haben bei MUV-Entscheidungen im Vergleich zu OUV-Entscheidungen (Auswahloption: $T = 26.00$, $p = 0.017$, $r = -0.58$, Masstab: $T = 2.00$, $p < 0.001$, $r = -0.94$). Bei den restlichen AOIs gibt es keine Unterschiede in der Betrachtungsdauer zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen (Karte: $T = 75.00$, $p = 0.943$, Legende Hangneigung: $T = 115.00$, $p = 0.068$, Legende Hindernisse: $T = 44.00$, $p = 0.124$, Legende Landstellen: $T = 37.50$, $p = 0.346$, Speicherknopf: $T = 96.00$, $p = 0.356$).

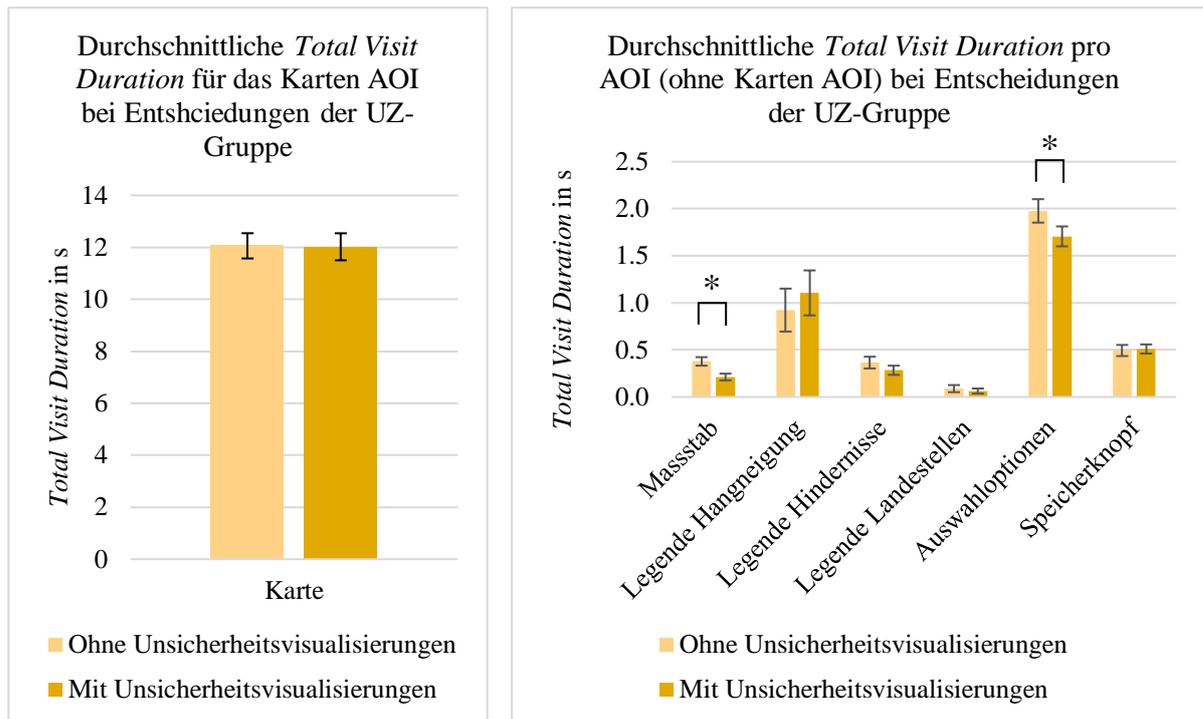


Abb. 64: Vergleich der durchschnittlichen *Total Visit Durations* aller AOIs zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe. Links: Karten AOI, rechts: übrige sechs AOIs (Achtung: unterschiedliche Grössenordnungen auf den y-Achsen, Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.3.11. Analyse der Entscheidungsprozesse bei Entscheidungen mit Unsicherheiten auf der Ebene der einzelnen Auswahloptionen mithilfe der Eye Tracker-Daten

Die Analyse der *Eye Tracker*-Daten in vorherigen Kapitel hat gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Karte deutlich länger betrachteten, wenn Unsicherheitsvisualisierungen darin vorkamen. Zudem stellte sich heraus, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Karte weniger häufig betrachtet haben, wenn es darin visualisierte Unsicherheiten hatte. In diesem Kapitel soll der Entscheidungsprozess bei Karten mit Unsicherheitsvisualisierungen noch etwas detaillierter betrachtet werden auf der Ebene der einzelnen zur Auswahl stehenden Landestellen.

Aufbereiten der Eye Tracker-Daten

Für diese Analyse werden AOIs um die einzelnen Landestellen gelegt (siehe Abb. 65). Die AOIs werden in die zwei Gruppen «Landestellen ohne Unsicherheiten» und «Landestellen mit Unsicherheiten» eingeteilt. Für die zwei AOI-Gruppen werden pro Teilnehmer über alle MUV-Entscheidungsaufgaben der *Visit Count* und die *Total Visit Duration* berechnet. Diese können jedoch nicht direkt verglichen werden, da es mehr Landestellen ohne Unsicherheiten als mit Unsicherheiten gibt (siehe Tabelle 17, 25 Landestellen ohne und 23 mit Unsicherheiten). Der *Visit Count* und die *Total Visit Duration* der AOI-Gruppe der Landestellen ohne Unsicherheiten werden daher durch 25 dividiert und diejenigen der AOI-Gruppe der Landestellen mit Unsicherheiten durch 23. Diese Berechnungen ergeben, wie häufig und wie lange jeder Teilnehmer im Durchschnitt eine Landestelle ohne und mit Unsicherheiten betrachtet hat.

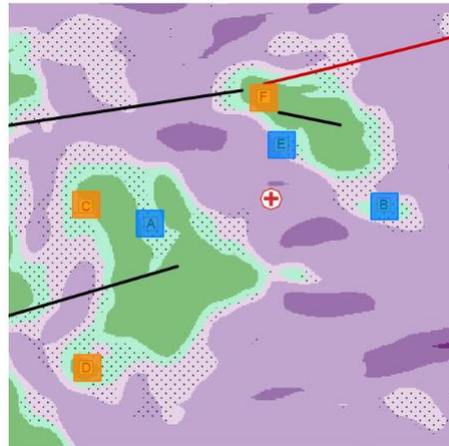


Abb. 65: Platzierung der Landstellen AOIs auf der Karte. Orange = AOI Gruppe der Landstellen ohne Unsicherheiten, blau = AOI Gruppe der Landstellen mit Unsicherheiten (Karte: Variante 4, Region 2, San Bernadino, Original).

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Die Mittelwerte über alle Teilnehmer des *Visit Counts* und der *Total Visit Duration* sind in Abb. 66 graphisch dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei MUV-Entscheidungen im Mittel die Landstellen mit Unsicherheiten sowohl häufiger als auch länger betrachtet haben als die Landstellen ohne Unsicherheiten. Um zu überprüfen, ob es sich um signifikante Unterschiede handelt, werden für die Daten des *Visit Counts* ein t-Test für verbundene Stichproben und für die Daten der *Total Visit Duration* ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (sie sind nicht normalverteilt) durchgeführt. Der t-Test ergibt, dass sich die durchschnittlichen *Visit Counts* von Landstellen ohne Unsicherheiten und Landstellen mit Unsicherheiten signifikant unterscheiden, wobei die Effektstärke gross ist ($T = -5.10$, $df = 16$, $p < 0.001$, $r = 0.79$). Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test zeigt, dass auch der Unterschied bezüglich der *Total Visit Durations* signifikant ist ($T = 150.00$, $p = 0.001$, $r = 0.84$). Die Teilnehmer haben folglich die Landstellen mit Unsicherheiten sowohl häufiger wie auch insgesamt länger betrachtet als die Landstellen ohne Unsicherheiten.

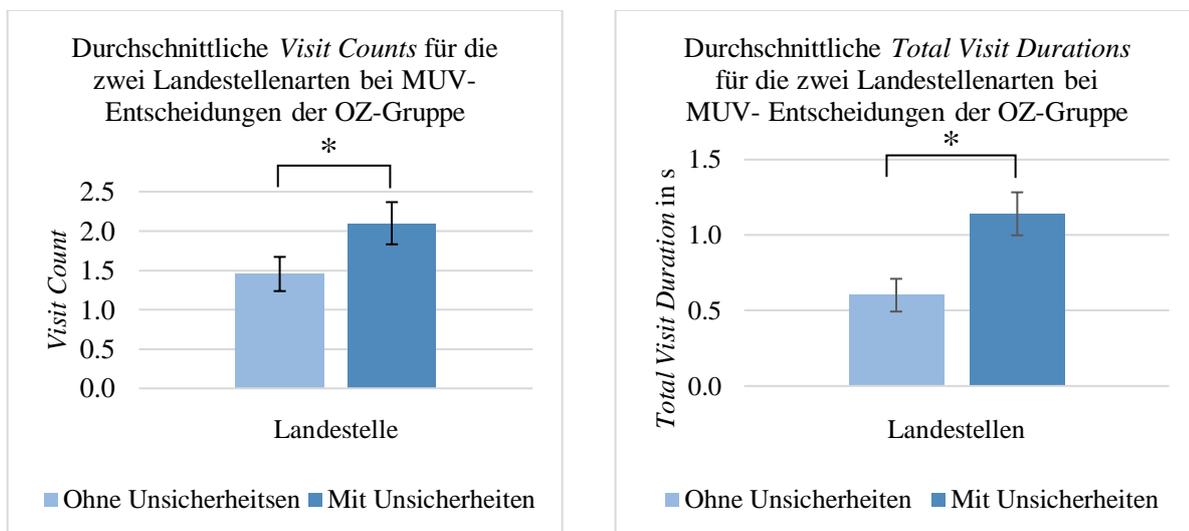


Abb. 66: Links: durchschnittliche *Visit Counts*, rechts: durchschnittliche *Total Visit Durations* je für die zwei Landstellenarten in MUV-Entscheidungen der OZ-Gruppe (Mittelwerte ± 1 Standardfehler).

Entscheidungen unter Zeitdruck

Dieselbe Analyse wie im vorherigen Abschnitt wird in diesem Abschnitt für die Daten der UZ-Gruppe durchgeführt. In Abb. 67 sind die Mittelwerte des *Visit Counts* und der *Total Visit Duration* über alle Teilnehmer der UZ-Gruppe für die zwei Landstellenarten dargestellt. Jede Landestelle ohne Unsicherheiten wurde im Durchschnitt 1.0 Mal (Standardabweichung: 0.4), diejenigen mit Unsicherheiten 1.2 Mal (Standardabweichung: 0.6) angeschaut. Das gleiche Verhältnis kann bei der *Total Visit Duration* beobachtet werden, wobei die Landstellen ohne Unsicherheiten durchschnittlich insgesamt 0.39s (Standardabweichung: 0.21s) und diejenigen mit 0.57s (Standardabweichung: 0.35s) angeschaut wurden. Je ein t-Test für verbundene Stichproben zeigt, dass der Unterschied der *Visit Counts* nicht signifikant ist ($T = -1.27$, $df = 16$, $p = 0.222$) jener der *Total Visit Durations* jedoch schon ($T = -2.20$, $df = 16$, $p = 0.043$, $r = 0.23$), wobei der Effekt jedoch schwach ist. Die Teilnehmer betrachteten bei MUV-Entscheidungen die Landstellen in unsicheren Gebieten also gleich häufig jedoch etwas länger als die Landstellen in sicheren Gebieten.

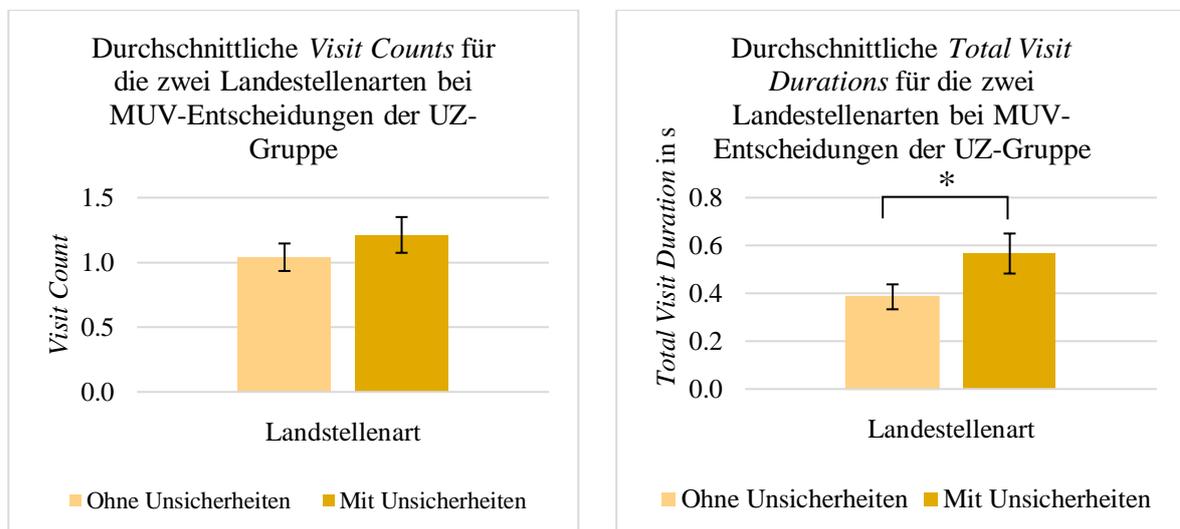


Abb. 67: Links: durchschnittliche *Visit Counts*, rechts: durchschnittliche *Total Visit Durations* je für die zwei Landstellenarten in MUV-Entscheidungen der UZ-Gruppe (Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

5.4. Dritter Teil der Hauptstudie

Zum Schluss dieses Kapitels werden die Resultate des dritten Teils der Hauptstudie thematisiert. Dabei wird zuerst der komplette SSSQ ausgewertet und anschliessend werden die Antworten zu den sechs Abschlussfragen analysiert.

5.4.1. Short State Stress Questionnaire

Der SSSQ wird analysiert, indem die Ergebnisse des Pre-SSSQ mit den Ergebnissen des Post-SSSQ verglichen werden, um so allfällige Änderungen im subjektiven Stressempfinden festzustellen. Dabei werden die Fragen nicht einzeln analysiert, sondern in die im Kapitel 4.5.1. beschriebenen drei Faktoren von Stress (*Task Engagement*, *Distress* und *Worry*) gruppiert, sodass die Pre- und die Post-Ergebnisse pro Faktor untersucht werden können (Helton 2004). In der Tabelle 20 ist ersichtlich, aus welchen Fragen sich die drei Faktoren jeweils zusammensetzen (eine Auflistung aller Fragen mit den jeweiligen

Fragenummern befindet sich im Anhang D). Die Analyse erfolgt ausschliesslich für beide Gruppen getrennt, da das Ziel ist zu eruieren, ob das auferlegte Zeitlimit bei der UZ-Gruppe eine andere Veränderung im Stresslevel der Teilnehmer induzierte als bei der OZ-Gruppe, bei der es keine Stressinduktion gab. Das Vorgehen bei der Auswertung orientiert sich am Vorgehen von Helton und Näswall (2015).

Tabelle 20: Zuordnung der einzelnen Fragen des SSSQ (siehe Anhang D) zu drei Faktoren von Stress nach Helton (2004) und Helton und Näswall (2015).

Faktor	Fragenummer
<i>Task Engagement</i>	2, 5, 11, (12), 13, 17, 21, 22
<i>Distress</i>	1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10
<i>Worry</i>	14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24

Für einen ersten Überblick werden die Pre- und Post-Werte der drei Faktoren einzeln analysiert. Die Werte können zwischen 1 und 5 liegen, wobei 1 für «trifft gar nicht zu» und 5 für «trifft voll zu» stehen. In der Tabelle 21 sind die Mittelwerte jedes Faktors mit den jeweiligen Standardabweichungen ersichtlich sowie die Ergebnisse einer Korrelationsanalyse. In den meisten Fällen korreliert der Pre-Wert eines Faktors mit dem Post-Wert desselben Faktors (ausser bei der OZ-Gruppe die *Distress*-Werte).

Tabelle 21: Deskriptive Statistik für die drei einzelnen Faktoren des SSSQ im Vorher-nachher-Vergleich (M = Mittelwert, SD = Standardabweichung)

	M	SD	1	2	3	4	5	6
Ohne Zeitdruck								
1 Pre- <i>Task Engagement</i>	3.815	.410	1					
2 Pre- <i>Distress</i>	1.412	.437	-0.10	1				
3 Pre- <i>Worry</i>	2.794	.342	0.32	0.21	1			
4 Post- <i>Task Engagement</i>	3.832	.493	0.75**	-0.25	-0.22	1		
5 Post- <i>Disress</i>	1.265	.211	0.06	0.47	0.23	0.03	1	
6 Post- <i>Worry</i>	2.978	.391	-0.22	0.10	0.74**	-0.11	0.47	1
Unter Zeitdruck								
1 Pre- <i>Task Engagement</i>	3.832	.521	1					
2 Pre- <i>Distress</i>	1.257	.219	-0.19	1				
3 Pre- <i>Worry</i>	2.831	.312	-0.23	0.25	1			
4 Post- <i>Task Engagement</i>	3.748	.526	0.66**	0.40	0.10	1		
5 Post- <i>Disress</i>	1.257	.240	-0.26	0.67**	-0.13	-0.52*	1	
6 Post- <i>Worry</i>	2.809	.484	-0.20	0.32	0.57*	-0.18	-0.08	1

** Korrelation ist signifikant bei p = 0.01

* Korrelation ist signifikant bei p = 0.05

In einem weiteren Schritt werden die *Change Scores* (deutsch: Änderungswerte) pro Faktor berechnet. Die individuellen Änderungen werden pro Teilnehmer mit folgender Formel, die häufig Anwendung findet (u.a. bei Helton und Warm 2008, Ossowski *et al.* 2011 oder Helton und Näswall 2015), berechnet:

$$\text{Change Score} = \text{individueller Post-Wert} - \text{individueller Pre-Wert} \quad (4)$$

Da die Skala aller drei Faktoren gleich ist, werden die *Change Scores* nicht standardisiert (Ossowski *et al.* 2011), wie dies beispielsweise bei Helton (2004) der Fall ist. Die durchschnittlichen *Change Scores* aller drei Faktoren sind in Abb. 68 als Balken dargestellt. Ein *Change Score* von 0 bedeutet, dass es keine Veränderung gibt. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Teilnehmer nach der Aufgabe weniger engagiert (negativer *Change Score* bei *Task Engagement*), mehr erschöpft (positiver *Change Scores* bei *Distress*) und weniger beunruhigt sind (negativer *Change Score* bei *Worry*) (Helton 2004), wobei für die UZ-Gruppe die jeweiligen *Change Scores* tiefer (*Task Engagement* und *Worry*) bzw. höher (*Distress*) ausfallen sollten als bei der OZ-Gruppe.

Wie in Abb. 68 ersichtlich ist, bewegen sich die einzelnen *Change Scores* im sehr kleinen Bereich von 0 bis +/- 0.18. Bei den zwei Faktoren *Task Engagement* und *Worry* ist der *Change Score* bei der OZ-Gruppe positiv und bei der UZ-Gruppe negativ. Bezüglich dieser zwei Faktoren weisen die zwei Gruppen also gegensätzliche Veränderungen auf. Beim Faktor *Distress* gibt es bei der UZ-Gruppe gar keine Veränderung, während es bei der OZ-Gruppe eine negative Änderung gibt. Dieses Muster weicht teilweise von den normalerweise beobachteten Mustern ab (Helton 2004, Matthews *et al.* 2013, Helton und Näswall 2015). Insbesondere die *Change Scores* der OZ-Gruppe sowie diejenigen des *Distress*-Faktors entsprechen nicht den oben beschriebenen Erwartungen.

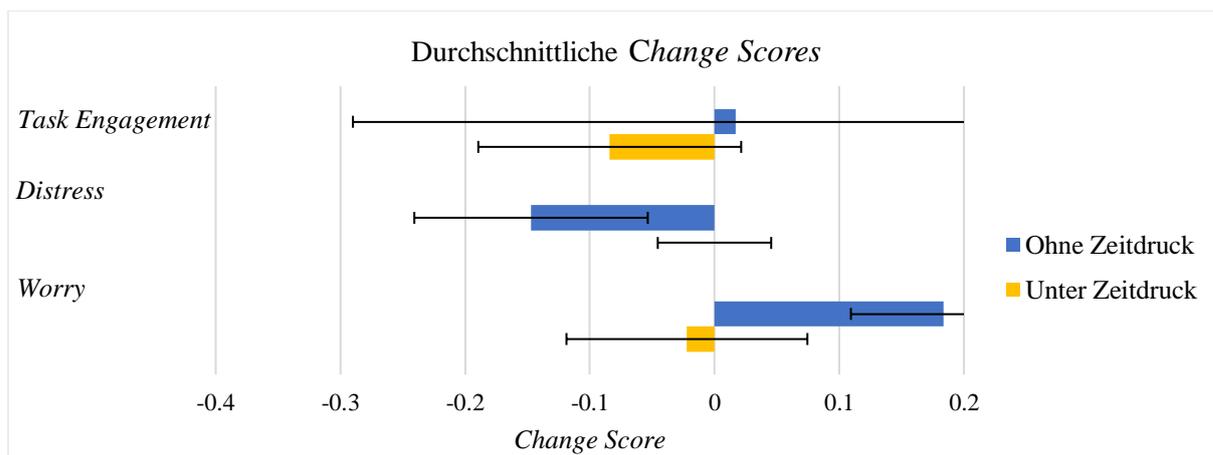


Abb. 68: Durchschnittliche *Change Scores* des SSSQ pro Gruppe und Faktor (ein *Change Score* von 0 bedeutet, dass es keine Veränderung gibt, Mittelwerte ± 1 Standardfehler).

Da die Mittelwerte der Pre- und Post-Werte jedes Faktors innerhalb einer Gruppe sowie auch im Gruppenvergleich relativ nahe beieinanderliegen, die Pre- und Post-Werte stark miteinander korrelieren (siehe Tabelle 21) und alle *Change Scores* $\leq |0.18|$ sind, lässt sich bereits vermuten, dass es keine

nachweisbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Werten gibt. Um dies statistisch zu überprüfen, wird pro Faktor eine 2x2 mixed ANOVA durchgeführt. Da jedoch drei der insgesamt zwölf Verteilungen (*Post-Task Engagement* bei der UZ-Gruppe und *Post-Distress* bei der OZ und UZ-Gruppe) nicht normalverteilt sind (bei allen drei sind die Skewness und Kurtosis positiv) und somit die Voraussetzungen für mixed ANOVAs nicht erfüllt sind, werden alle Verteilungen zuerst einer Log-Transformation unterzogen, wie dies Field (2013) für solche Fälle vorschlägt. Die Transformationen führen dazu, dass alle Verteilungen normalverteilt sind und somit die mixed ANOVAs durchgeführt werden können.

Bei allen drei mixed ANOVAs können jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (*Task Engagement* Pre-Post-Faktor: $F(1, 32) = 0.35$, $p = 0.559$, Gruppenfaktor: $F(1, 32) = 0.08$, $p = 0.779$, Interaktionseffekt: $F(1, 32) = 0.50$, $p = 0.485$, *Distress* Pre-Post-Faktor: $F(1, 32) = 1.90$, $p = 0.178$, Gruppenfaktor: $F(1, 32) = 0.71$, $p = 0.406$, Interaktionseffekt: $F(1, 32) = 1.75$, $p = 0.195$, *Worry* Pre-Post-Faktor: $F(1, 32) = 1.36$, $p = 0.253$, Gruppenfaktor: $F(1, 32) = 0.36$, $p = 0.555$, Interaktionseffekt: $F(1, 32) = 3.66$, $p = 0.065$). Das bedeutet, dass sich weder innerhalb einer Gruppe die drei Stressfaktoren im Vorher-nachher-Vergleich deutlich verändert haben noch dass es innerhalb eines Faktors deutliche Unterschiede im Vergleich von der OZ- zur UZ-Gruppe gibt. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass das Zeitlimit bei der UZ-Gruppe nicht dazu geführt hat, dass sich das subjektive Stressempfinden, wie es mit dem SSSQ gemessen wird, signifikant verändert hat. Auch war das subjektive Stressempfinden weder vor noch nach den Entscheidungsaufgaben signifikant unterschiedlich zwischen den Teilnehmern der zwei Gruppen.

5.4.2. Nachbefragung

Die ersten zwei Fragen der Nachbefragung (siehe Anhang I) dienen hauptsächlich dazu, zu eruieren, ob das Szenario sowie das Konzept von Unsicherheiten in Hangneigungsdaten für die Teilnehmer nachvollziehbar und verständlich waren. Die Auswertung dieser zwei Fragen zeigt, dass keine einzige Person das Szenario und somit die Aufgabenstellung nicht nachvollziehen konnte. 2 Personen (5.9%, beide aus der OZ-Gruppe) gaben an, dass sie das Szenario grundsätzlich zwar verstanden haben, sich jedoch noch einige zusätzliche Informationen dazu gewünscht hätten. Ähnlich positiv fällt die Rückmeldung in Bezug auf das Verständnis des Unsicherheitskonzepts aus. Die deutliche Mehrheit von 31 Teilnehmern (91.2%) gibt an, verstanden zu haben, weshalb es in Hangneigungsdaten zu Unsicherheiten kommen kann. 2 weitere Personen (je eine aus der OZ- und der UZ-Gruppe) haben das Konzept ebenfalls verstanden, hätten sich aber noch weiterführende Informationen dazu gewünscht, und lediglich 1 Person (2.9%, aus der UZ-Gruppe) gibt an, das Konzept der Unsicherheit nicht verstanden zu haben. Diese Resultate zeigen insgesamt, dass deutlich davon ausgegangen werden kann, dass die Teilnehmer die Aufgabenstellung verstanden haben.

Da Zeitdruck, wie in Kapitel 2.9.2. erläutert, die Aufgabenschwierigkeit verändern kann (Hwang 1994), wurden die Teilnehmer mithilfe einer 5-teiligen Skala von «sehr einfach» bis «sehr schwierig» darüber befragt, wie schwierig sie die Entscheidungsaufgaben fanden. Unter Annahme, dass die Teil-

nehmer der UZ-Gruppe das Zeitlimit als Zeitdruck empfanden, kann erwartet werden, dass sie die Entscheidungsaufgaben als schwieriger einstufen als die Teilnehmer der OZ-Gruppe. Die Ergebnisse dieser Frage sind in Abb. 69 graphisch zusammengefasst. Weder in der OZ- noch in der UZ-Gruppe empfand ein Teilnehmer die Entscheidung als «sehr einfach», was positiv zu bewerten ist, da es sich um eine komplexe Entscheidungsaufgabe handeln sollte und eine solche kaum als «sehr einfach» eingestuft werden kann. 3 Personen der OZ-Gruppe (17.6%) und gerade einmal 1 Teilnehmer der UZ-Gruppe (5.9%) stufte die Aufgaben als «einfach» ein. 10 Personen (58.8%) und somit die Mehrheit der OZ-Gruppe gaben an, die Schwierigkeit der Entscheidungen sei «neutral». In der UZ-Gruppe gaben nur 6 Teilnehmer (35,3%) diese Antwort. Dieses Verhältnis wechselt jedoch bei der Schwierigkeitsstufe «schwierig». Gerade einmal 4 Teilnehmer der OZ-Gruppe fanden die Aufgaben «schwierig», wohingegen 9 Personen (52.9%) der UZ-Gruppe die Entscheidungsschwierigkeit in diese Kategorie einstufen. Schliesslich gab sogar 1 Person der UZ-Gruppe an, dass sie die Entscheidungsaufgaben als «sehr schwierig» empfand. Auf den ersten Blick scheinen die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Entscheidungen also tendenziell als schwieriger empfunden zu haben, als die Teilnehmer der OZ-Gruppe.

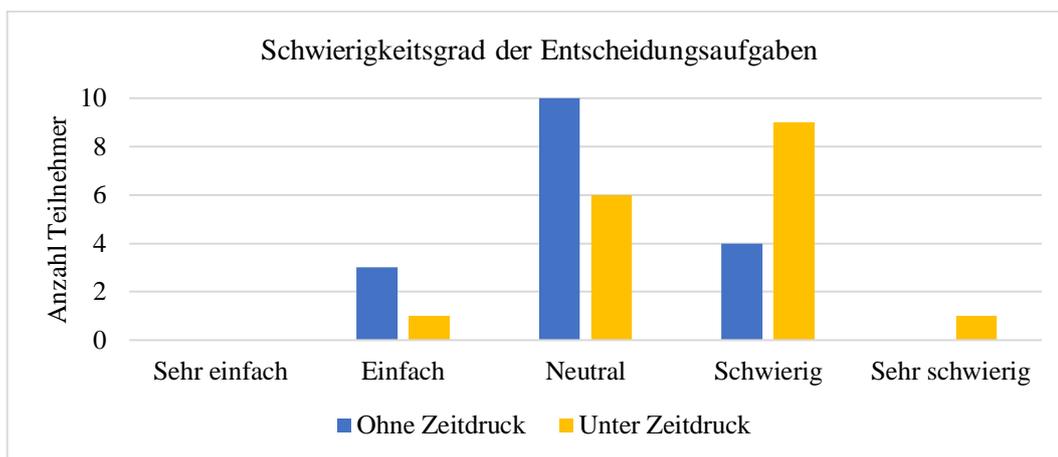


Abb. 69: Empfundener Schwierigkeitsgrad der Entscheidungsaufgaben.

Mithilfe eines statistischen Tests soll diese Annahme überprüft werden. Dazu werden den fünf Schwierigkeitsstufen von «sehr einfach» bis «sehr schwierig» die Werte 1 bis 5 zugeordnet. Der Mittelwert der OZ-Gruppe beträgt 3.06 (Standardabweichung: 0.66). Der Mittelwert der UZ-Gruppe ist mit 3.59 (Standardabweichung; 0.71) wie erwartet etwas höher als derjenige der OZ-Gruppe. Da die Verteilungen beider Gruppen nicht normalverteilt sind, wird ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dieser Test zeigt, dass sich die angegebenen Schwierigkeitsgrade der OZ-Gruppe signifikant von denjenigen der UZ-Gruppe unterscheiden ($U = 201.50$, $p = 0.049$, $r = 0.368$). Die Annahme, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Aufgaben aufgrund des Zeitlimits schwieriger fanden, ist somit bestätigt.

Direkt anschliessend an die Frage nach der Schwierigkeit wurden diejenigen Personen, die mit «schwierig» oder «sehr schwierig» antworteten, gebeten, stichwortartig oder in kurzen Sätzen zu begründen, weshalb sie die Entscheidungsaufgaben «schwierig» oder «sehr schwierig» fanden. Insgesamt mussten 14 Personen eine Begründung schreiben (4 Personen aus der OZ- und 10 aus der UZ-Gruppe),

wobei einige Teilnehmer bis zu drei Gründe nannten. Insgesamt wurden so von den 14 Teilnehmern 21 Gründe genannt. Einige Gründe wurden mehrmals von verschiedenen Personen genannt. Um einen Überblick über die genannten Gründe zu erhalten, werden diese in neun Begründungskategorien eingeteilt. In Tabelle 22 sind die Kategorien zusammen mit den Häufigkeiten, mit denen sie genannt wurden, aufgelistet. Aus dieser Tabelle geht hervor, dass hauptsächlich die Distanzschätzung (zwischen den Landstellen und den Luftfahrthindernissen sowie Skiliften) und die Einschränkung der zur Verfügung stehenden Zeit durch den Timer die Entscheidungen «schwierig» oder «sehr schwierig» machten. Da jedoch kein Teilnehmer der OZ-Gruppe angab, dass die Distanzschätzung schwierig war, ist anzunehmen, dass die Distanzschätzung hauptsächlich unter Zeitdruck Mühe bereitet hat.

Tabelle 22: Kategorisierte Gründe, weshalb die Entscheidungen als «schwierig» oder «sehr schwierig» eingestuft wurden.

Begründung	Häufigkeit		
	OZ	UZ	Total
1 Das Landstellensymbol ist zu gross / hat eine falsche Form	1	0	1
2 Es gibt zu viel Informationen	0	1	1
3 Es fehlt an Übung	0	1	1
4 Gefühl von Stress und Konzentrationsschwierigkeiten	0	2	2
5 Es gibt pro Entscheidung mehrere gute Möglichkeiten	2	0	2
6 Gewichtung der einzelnen Kriterien bei der Entscheidung (nahe und grösseres Risiko vs. weit weg und geringeres Risiko)	1	1	2
7 Einschätzung der Unsicherheit und deren Einfluss	0	2	2
8 Distanzschätzung zu den Hindernissen	0	5	5
9 Die zur Verfügung stehende Zeit ist sehr knapp	0	5	5

Abschliessend wurden die Teilnehmer beider Gruppen gefragt, ob sie sich während den Entscheidungsaufgaben gestresst gefühlt hätten. Die Teilnehmer der UZ-Gruppe wurden zusätzlich gebeten, anzugeben, ob sie sich bei den Entscheidungsaufgaben beeilen mussten, um zu einer Antwort zu kommen. Diese Fragen sollen zusätzlich zum SSSQ Aufschluss darüber geben, ob das Zeitlimit die Teilnehmer in eine Stresssituation versetzt hat oder nicht. Insbesondere da die Auswertung des SSSQ keine Veränderung im Stressniveau der Teilnehmer ergeben hat, sind diese Fragen nun von grossem Interesse. Die Ergebnisse zu beiden Fragen sind in der Abb. 70 graphisch zusammengefasst. Daraus geht deutlich hervor, dass die Mehrheit der Teilnehmer der OZ-Gruppe (10 Personen, 58,8%) sich zu keinem Zeitpunkt während der Entscheidungsaufgaben gestresst fühlte. 7 Personen (41,2%) fühlten sich während «einigen wenigen» Entscheidungen gestresst. Bei der UZ-Gruppe ist die Verteilung wie erwartet etwas anders. Gerade einmal 1 Teilnehmer (5,9%) gibt an, dass er sich «nie» gestresst fühlte. 8 Teilnehmer (47,1%) fühlten sich bei «einigen wenigen» Aufgaben gestresst und mit 7 Personen beinahe gleich viel

Teilnehmer (41.2%) waren bei «den meisten» Entscheidungen in einer Stresssituation. 1 Person (5.9%) gab sogar an, sich «immer» gestresst gefühlt zu haben. Um statistisch zu überprüfen, ob die Verteilungen wie vermutet unterschiedlich sind, wird ein exakter Test nach Fisher durchgeführt (es liegen mehrere erwartete Zellhäufigkeiten kleiner als 5 vor). Dieser zeigt, dass es tatsächlich einen signifikanten Unterschied im Muster der Antworten gibt zwischen der OZ- und der UZ-Gruppe ($p < 0.001$, Cramér's $V = 0.674$). Daraus geht folglich hervor, dass sich die Teilnehmer der UZ-Gruppe aufgrund des Zeitlimits gestresster gefühlt haben als die Teilnehmer der OZ-Gruppe.

Interessant an diesem Punkt ist daher der Vergleich mit den Antworten zur Frage, ob sich die Teilnehmer der UZ-Gruppe beeilen mussten, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Wie bei der vorherigen Frage gibt wiederum 1 Teilnehmer an, dass er sich «nie» beeilen musste, um zu einer Entscheidung zu gelangen (es handelt sich nicht um die gleiche Person). Das Zeitlimit war für diesen Teilnehmer folglich zu grosszügig gewählt. 4 Teilnehmer (23.5%) mussten sich «bei einigen wenigen» und 7 Personen (41.2%) «bei den meisten» Entscheidungsaufgaben aufgrund des Zeitlimits beeilen. 5 Teilnehmer (29.4%) mussten sich sogar bei allen Entscheidungsaufgaben beeilen.

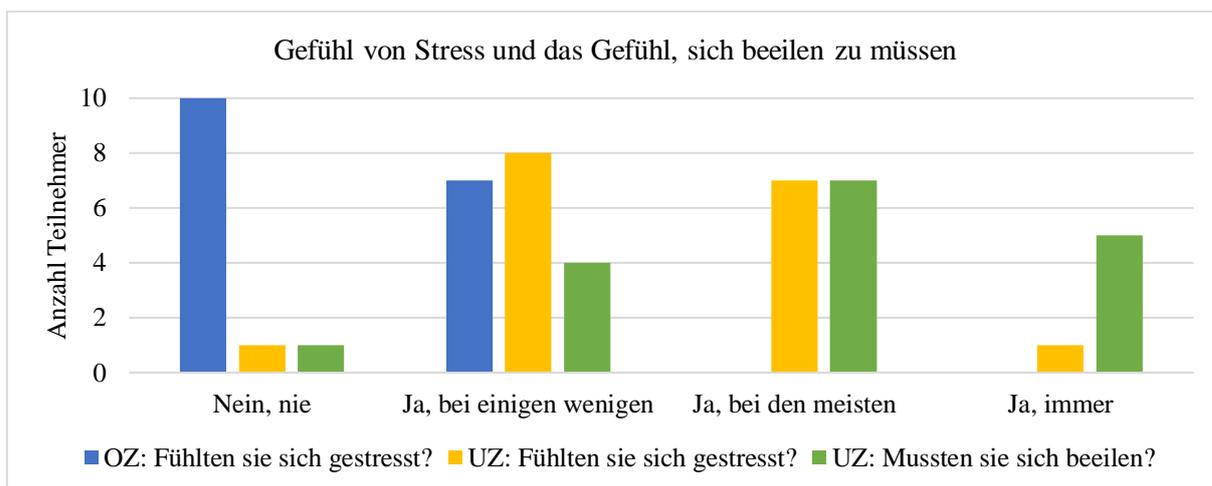


Abb. 70: Gefühl von Stress bei beiden Gruppen und das Gefühl, sich beeilen zu müssen, bei der UZ-Gruppe

6. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Hauptstudie diskutiert, wobei versucht wird, sie in den Kontext bestehender Literatur zu den Themen Unsicherheitsvisualisierungen und ihre Einflüsse auf Entscheidungen und Entscheidungsprozesse sowie Entscheidungen unter Zeitdruck zu setzen. Das Kapitel beginnt mit einer Diskussion darüber, ob das verwendete Zeitlimit als Stressor überhaupt erfolgreich war. Anschliessend ist das Kapitel nach den drei Forschungsfragen (siehe Kapitel 3.) strukturiert. Auf die Forschungsfrage 3 (Unterschiede zwischen Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck) wird teilweise bereits in der Diskussion der vorhergehenden zwei Fragen eingegangen.

6.1. Standen die Teilnehmer der UZ-Gruppe unter Zeitdruck?

Da ein Zeitdruck nur besteht, wenn ein Zeitlimit ein Gefühl von Stress auslöst (Ordóñez und Benson 1997), wird in diesem Unterkapitel diskutiert, ob das in der Studie eingesetzte Zeitlimit so gewählt wurde, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe sich unter Stress fühlten und folglich unter Zeitdruck standen. Nur wenn das der Fall war, können die Entscheidungen der UZ-Gruppe als Entscheidungen unter Zeitdruck betrachtet und diskutiert werden. Als Indikatoren dafür, ob die Teilnehmer der UZ-Gruppe unter Zeitdruck standen, dienen die Ergebnisse des SSSQ (siehe Kapitel 5.4.1.) und der Nachbefragung (siehe Kapitel 5.4.2.)

Wie in Kapitel 5.4.1. aufgezeigt wurde, deckte der SSSQ in dieser Studie keine signifikanten Veränderungen des persönlichen Empfindens auf. Nach dem SSSQ gibt es also weder signifikante Unterschiede im Stressempfinden zwischen Teilnehmern der OZ- und der UZ-Gruppe noch innerhalb der UZ-Gruppe zwischen der Messung zu Beginn der Studie und nach dem Lösen der Entscheidungsaufgaben. Dies kann zwei Dinge implizieren. Zum einen könnte dieses Resultat bedeuten, dass das eingesetzte Zeitlimit die Teilnehmer der UZ-Gruppe nicht unter Stress setzte und sie daher die Entscheidungsaufgaben ohne Zeitdruck lösten, zum anderen könnte es sein, dass die Teilnehmer sich sehr wohl gestresst fühlten und unter Zeitdruck standen, der SSSQ jedoch nicht das geeignete Mittel war, diesen Stress zu messen.

In mehreren Untersuchungen wurde aufgezeigt, dass der SSSQ ein sensitiver Indikator für Veränderungen des persönlichen Empfindens ist und sensitiv auf verschiedenste Stressoren (wie hier das Zeitlimit) und Änderungen der Aufgabenkomplexität reagiert (Helton 2004, Helton und Näswall 2015). Dementsprechend müsste angenommen werden, dass das Zeitlimit wohl nicht effektiv war als Stressor. Frei (2015) setzte in seiner Studie die Messung der Hautleitfähigkeit sowie den SSSQ ein, um zu eruieren, ob die Teilnehmer der Stress-Gruppe während der Aufgaben unter Stress standen. Als Stressoren verwendete er nicht nur ein Zeitlimit, sondern auch Lärm sowie Dialogfenster. Während die Messung der Hautleitfähigkeit zeigte, dass die Teilnehmer der Stress-Gruppe mehr Stress empfunden haben als diejenigen der Kontrollgruppe und die Stressoren somit effektiv waren, zeigte der SSSQ ebenfalls keine

signifikanten Veränderungen an. Auch in seinem Fall reagiert der SSSQ, der im Gegensatz zur Hautleitfähigkeitsmessung auf der Selbsteinschätzung der Teilnehmer beruht, also nicht sensitiv auf mehrere verschiedene Stressoren. Der SSSQ ist also möglicherweise nicht immer ein geeignetes Mittel um festzustellen, ob Teilnehmer aufgrund eines eingesetzten Stressors unter Stress stehen. Zudem soll an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass sich einige Teilnehmer am Schluss bei der offenen Frage negativ über den SSSQ äusserten, indem sie beispielsweise aussagten, «der Sinn hinter [sich] wiederholenden Wohlfühlfragen ist nicht nachvollziehbar bzw. mit der Zeit sehr störend».

Um die Effektivität des Zeitlimits als Stressor zusätzlich beurteilen zu können, wurden die Teilnehmer in der Nachbefragung gefragt, wie schwierig sie die Entscheidungsaufgaben fanden, ob sie sich gestresst gefühlt hätten und zusätzlich, bei der UZ-Gruppe, ob sie sich hätten beeilen müssen. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Entscheidungsaufgaben signifikant schwieriger fanden als die Teilnehmer der OZ-Gruppe. Da Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht (Hwang 1994), ist dies ein Indiz dafür, dass das Zeitlimit die Teilnehmer der UZ-Gruppe unter Zeitdruck setzte. Des Weiteren ergab die Auswertung, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe sich signifikant gestresster fühlten als diejenigen der OZ-Gruppe und die grosse Mehrheit sich meistens oder immer beeilen musste, um innerhalb des Zeitlimits zu einer Entscheidung zu gelangen. Die Resultate der Nachbefragung weisen also deutlich darauf hin, dass das Zeitlimit als Stressor effektiv war und die Teilnehmer unter Zeitdruck standen.

Aufgrund der obigen Ausführungen wird abschliessend angenommen, dass trotz der Ergebnisse des SSSQ, der wohl in diesem Setting nicht das richtige Messinstrument war, die Mehrheit der Teilnehmer der UZ-Gruppe aufgrund des Zeitlimits von 25s unter Zeitdruck standen und deren Entscheidungen daher als Entscheidungen unter Zeitdruck diskutiert werden können. Mit abschliessender Sicherheit kann dies jedoch mit den hier vorliegenden Daten nicht gesagt werden.

6.2. Forschungsfrage 1: Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck

6.2.1. Effekte auf die Entscheidung

Entscheidungen ohne Zeitdruck

In Kapitel 5.3.3. konnte gezeigt werden, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei OUV-Entscheidungen durchschnittlich die Landestellen der Kategorie 7.32 und bei MUV-Entscheidungen diejenigen der Kategorie 7.01 wählten und sich die Entscheidungen somit signifikant voneinander unterscheiden. Generell haben die Unsicherheitsvisualisierungen in dieser Studie also einen Effekt auf die Ergebnisse der Entscheidungen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Erkenntnissen aus denjenigen Effekt-Studien, die analysiert haben, ob es zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen relative Veränderungen gibt. So hielten, wie in Kapitel 2.8.1. erläutert, sowohl Deitrick und Edsall (2006), Pyy-salo und Oksanen (2014) sowie Riveiro *et al.* (2014) fest, dass Unsicherheitsvisualisierungen im Allgemeinen Entscheidungen verändern.

Während v.a. Deitrick und Edsall (2006) sowie Pyysalo und Oksanen (2014) nicht näher darauf eingehen, inwiefern sich die Entscheidungen veränderten, wird nachfolgend versucht, mithilfe der Resultate des Analyseverfahrens 2 näher auf die Unterschiede einzugehen, um hoffentlich eine Aussage darüber machen zu können, inwiefern sich die Teilnehmer der OZ-Gruppe anders entschieden haben. Um die Diskussion zu erleichtern, ist untenstehend (siehe Abb. 71) nochmals eine Grafik aus den Resultaten (die Abb. 51 in Kombination mit der Abb. 52) abgedruckt.

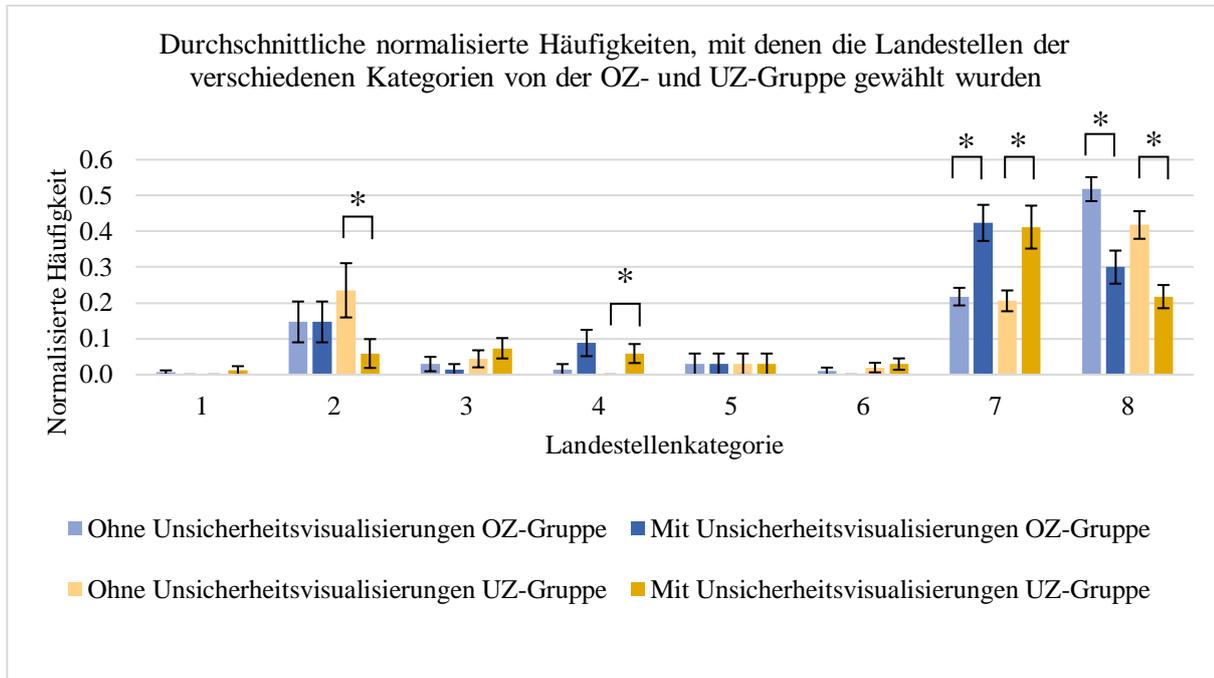


Abb. 71: Vergleich der durchschnittlichen normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen der einzelnen Kategorien bei OUV- und MUV-Entscheidungen von der OZ- und UZ-Gruppe gewählt wurden (es wurde nur auf statistische Signifikanz innerhalb einer Gruppe getestet und nicht zwischen den Gruppen, Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Bei OUV-Entscheidungen wählten die Teilnehmer im Mittel eine Landstelle der Kategorie 7 mit Tendenz zur Kategorie 8. Diese Tendenz ist bei MUV-Entscheidungen nicht mehr vorhanden. Bei der Analyse der normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen gewählt wurden (siehe Kapitel 5.3.4.), hat sich gezeigt, dass sich die Teilnehmer bei OUV-Entscheidungen am häufigsten für Landstellen der Kategorie 8 entschieden (daher wohl die Tendenz in der mittleren Punktzahl) und am zweithäufigsten für diejenigen der Kategorie 7. Bei MUV-Entscheidungen war es genau umgekehrt. Die Teilnehmer haben am häufigsten die Landstellen der Kategorie 7 und am zweithäufigsten der Kategorie 8 gewählt (die mittlere Punktzahl entspricht folglich genau derjenigen Landstellenkategorie, die am häufigsten gewählt wurde). Die Unsicherheitsvisualisierungen haben also offensichtlich hauptsächlich dazu geführt, dass die Eignungen der Landstellen der Kategorie 7 und 8 anders bewertet wurden. Aus diesem Grund werden die Eigenschaften der zwei Landstellenkategorien nochmals in Erinnerung gerufen.

Entscheidungen für beide Landstellenkategorien sind bei Entscheidungen ohne visualisierte Unsicherheiten als «korrekt» zu bewerten. Bei Landstellen der Kategorie 7 sind die Hangneigungen «ideal»

und bei solchen der Kategorie 8 «o.k.», die Landstellen der Kategorie 7 sind jedoch weiter vom Zielobjekt entfernt als diejenigen der Kategorie 8 (siehe Tabelle 12). Bei Entscheidungen mit visualisierten Unsicherheiten kann sich die Eignung der Landstellen der Kategorie 7 nur insofern verändern, als die Hangneigung nicht mehr «ideal», sondern nur noch «o.k.» ist. Bei Landstellen der Kategorie 8 können die Unsicherheiten jedoch bewirken, dass die Hangneigungen statt «o.k.» nun «schlecht» oder umgekehrt gar «ideal» sind.

Bei OUV-Entscheidungen haben sich die Teilnehmer demzufolge am häufigsten für die Landstellen entschieden, die näher beim Zielobjekt sind, jedoch nicht ganz ideale Hangneigungen aufweisen. Bei MUV-Entscheidungen haben sich die Teilnehmer hingegen für die «sicherere», dafür weiter vom Zielobjekt entfernte Landestelle entschieden. Sicherer bedeutet in diesem Fall, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe diejenige Landestelle wählten, von der sie wussten, dass sie in jedem Fall als Landstellen geeignet sind. Aus theoretischer Sicht war die Wahl der Landstellen der Kategorie 8 auch bei MUV-Entscheidung indes keine schlechte Entscheidung. Da Unsicherheiten bedeuteten, dass die Hangneigungen in der vorherigen oder nächsten Klasse liegen könnten, mussten die Teilnehmer annehmen, dass die Hangneigungen mit jeweils einer Wahrscheinlichkeit von 33.3% in der vorherigen oder in der nächsten Klasse sind oder unverändert bleiben. Für die Landstellen der Kategorie 8 bedeutet das, dass die Hangneigungen mit Unsicherheiten zu je 33.3% «schlecht», «o.k.» oder «ideal» sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Hangneigung einer Landestelle der Kategorie 8 trotz Unsicherheiten zur Landung eignet liegt also bei 66.6% und ist somit grösser als die Wahrscheinlichkeit, dass die Landestelle ungeeignet ist. Da diese Landestelle näher bei der Zielperson ist als die Landstellen der Kategorie 7, wäre sie zudem mit der Wahrscheinlichkeit von 66.6% die bessere Wahl als die Landestelle der Kategorie 7. Und trotzdem wählten die Teilnehmer bei MUV-Entscheidungen häufiger die Landstellen der Kategorie 7.

Ein ähnliches Verhalten beobachteten Hope und Hunter (2007b) in ihrer Effekt-Studie, in der die Teilnehmer sich mithilfe einer Bodeneignungskarte für einen neuen Flughafenstandort entscheiden mussten (siehe Kapitel 2.8.1.). Sie begründeten das Verhalten mit dem Konzept der Verlustaversion von Kahneman und Tversky (1979), das besagt, dass beispielsweise bei einer Wette mit gleicher Verlust- und Gewinnchance die Teilnehmer mehr unter dem Verlust leiden würden, als dass sie sich über den Gewinn freuen könnten, weshalb sie die Wette ablehnen (Kahneman und Tversky 1979, Hope und Hunter 2007b).

Es scheint wahrscheinlich, dass auch in diesem Fall die Teilnehmer aufgrund der Verlustaversion bei MUV-Entscheidungen häufiger die Landstellen der Kategorie 7 wählten als diejenigen der Kategorie 8. Ist dies der Fall, bedeutet das, dass die Teilnehmer die möglichen Verluste durch die Unsicherheiten (Hangneigung der Landestelle der Kategorie 8 ist «schlecht») höher einschätzen als die möglichen Gewinne durch sie (Hangneigung ist «ideal») und daher die Landstellen der Kategorie 8 nicht so häufig wählten wie bei OUV-Entscheidungen. Zusammengefasst hat möglicherweise die Verlustaversion dazu

geführt, dass bei Entscheidungen mit Unsicherheiten andere Entscheidungen getroffen wurden als bei Entscheidungen ohne Unsicherheiten.

Nebst Hope und Hunter (2007b), die dasselbe beobachteten und ausführlich beschrieben, hielten auch Cheong *et al.* (2016) zu Beginn ihrer Studie fest, dass bei Szenarien wie ihrem (mögliche Evakuierung in Angesicht eines Waldbrandes) die Verlustaversion wahrscheinlich eine Rolle spielt und die Entscheidungen verändern könnte. Sie gehen aber nicht spezifischer darauf ein. Dass die Verlustaversion jedoch nicht bei allen Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen eine Rolle spielt, zeigt die Studie von Kübler (2016). In ihrer Studie wählten die Teilnehmer häufiger Häuser in unsicheren Regionen und haben so laut Kübler (2016) den möglichen Gewinn eines Hauses in einer Zone mit Unsicherheiten entgegen dem Konzept der Verlustaversion höher eingeschätzt als den möglichen Verlust.

An dieser Stelle wäre interessant zu wissen, weshalb in Fällen wie diesem hier oder demjenigen von Hope und Hunter (2007b) wohl aufgrund der Verlustaversion bei Entscheidungen mit Unsicherheiten andere Entscheidungen getroffen werden, und in Fällen wie etwa demjenigen von Kübler (2016) die Verlustaversion keine Rolle spielt oder sogar entgegen dieser entschieden wird. Es ist denkbar, dass die Risikoeinstellung der Teilnehmer einen Einfluss darauf hat, ob sie mögliche Gewinne durch Unsicherheiten geringer einschätzen als die möglichen Verluste. Auch möglich wäre, dass das Entscheidungsszenario und die Art der Risiken ausschlaggebend dafür sind, ob Entscheidungsträger die möglichen Verluste durch Unsicherheiten zu hoch einschätzen.

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die Auswertung der Entscheidungen der UZ-Gruppe in Kapitel 5.3.3. zeigte, dass deren Teilnehmer im Durchschnitt bei OUV-Entscheidungen Landstellen der Kategorie 6.29 und bei MUV-Entscheidungen Landstellen der Kategorie 6.22 wählten und sich somit die Entscheidungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Diese Resultate des Analyseverfahrens 1 implizieren, dass in dieser Studie Unsicherheitsvisualisierungen bei Entscheidungen unter Zeitdruck generell keinen Einfluss auf die Entscheidung haben. Darüber, ob sich diese Feststellung mit Erkenntnissen anderer Studien deckt, kann keine Aussage gemacht werden, da es meines Wissens noch keine Studien gibt, die den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf kartenbasierte Entscheidungen unter Zeitdruck untersuchten. Es kann nur so viel gesagt werden, dass diese Erkenntnis nicht in Übereinstimmung ist mit den Erkenntnissen über den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf «normale» Entscheidungen ohne Zeitdruck (Deitrick und Edsall 2006, Pyysalo und Oksanen 2014, Riveiro *et al.* 2014, Kinkeldey *et al.* 2015a).

Mit der Erkenntnis, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Einfluss auf Entscheidungen unter Zeitdruck haben, sollte jedoch vorsichtig umgegangen werden, denn das Analyseverfahren 1 birgt einige Nachteile, die in Kapitel 5.3.2. ausführlich beschrieben sind. Diese Nachteile können bewirken, dass allfällige Unterschiede mit diesem Verfahren gar nicht detektiert werden und die Nullhypothese, dass kein Unterschied besteht zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen, fälsch-

licherweise angenommen wird und somit ein Fehler 2. Art begangen wird. Die Resultate des Analyseverfahrens 2 sollten helfen, etwas mehr Klarheit zu schaffen und diese Erkenntnis zu relativieren oder zu stärken.

Bei der Analyse der normalisierten Häufigkeiten, mit denen die Landstellen gewählt wurden (siehe Kapitel 5.3.4.), hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei OUV-Entscheidungen hauptsächlich Landstellen der Kategorien 2, 7 und 8 wählten, wobei die Landstellen der Kategorie 8 wie bei den Teilnehmern der OZ-Gruppe durchschnittlich am häufigsten gewählt wurden (siehe Abb. 71). Bei MUV-Entscheidungen wählten die Teilnehmer signifikant seltener die Landstellen der Kategorie 2 und signifikant häufiger die Landstellen der Kategorie 4 (die bei OUV-Entscheidungen gar nicht gewählt wurden). Die auffälligste Veränderung ist jedoch, dass – wie bei der OZ-Gruppe – nicht mehr die Landstellen der Kategorie 8, sondern diejenigen der Kategorie 7 am häufigsten gewählt wurden. Im Allgemeinen bedeutet das, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch bei Entscheidungen unter Zeitdruck insofern einen Effekt auf die Entscheidungen hatten, als sich die Präferenzen veränderten und andere Landstellen gewählt wurden.

Im Detail ist teilweise dasselbe Muster zu beobachten wie bei der OZ-Gruppe. Die Unsicherheitsvisualisierungen haben auch bei Entscheidungsträgern unter Zeitdruck bewirkt, dass die Teilnehmer lieber die «sichere», dafür weiter zur Zielperson entfernte Variante (Landstellen der Kategorie 7) wählten statt die nähere Variante (Landstellen der Kategorie 8), was wie bereits erläutert wohl auf die Verlustaversion zurückzuführen ist.

Anders als bei der OZ-Gruppe gibt es bei der UZ-Gruppe auch Unterschiede bezüglich der Häufigkeiten, mit denen Landstellen der Kategorien 2 und 4 gewählt wurden. Die Hangneigungen der Landstellen der Kategorie 2 sind bei OUV-Entscheidungen «o.k.». Die Abstände dieser Landstellen zu zwei verschiedenen Hindernissen sind jedoch zu gering, weshalb die Wahl dieser Landstellen «sehr falsch» ist. Bei MUV-Entscheidungen könnte die Hangneigung wie bei den Landstellen der Kategorie 8 «falsch», «o.k.» oder «ideal» sein. Aufgrund der zu geringen Abstände ist die Wahl dieser Landstellen allerdings auch bei MUV-Entscheidungen «sehr falsch». Ich vermute, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei OUV-Entscheidungen die Landstellen dieser Kategorie gewählt haben, weil deren Hangneigungen geeignet waren. Die Distanzen haben sie womöglich aufgrund des Zeitdrucks nicht sorgfältig in die Entscheidung miteinbezogen. Bei MUV-Entscheidungen könnte abermals die Verlustaversion die Teilnehmer dazu bewogen haben, diese Landstellen nicht zu wählen, da sich deren Hangneigung zum Negativen hätten verändern können.

Die Landstellen der Kategorie 4 wurden bei OUV-Entscheidungen korrekterweise nie gewählt. Die Hangneigungen dieser Landstellen sind abermals ohne Unsicherheiten «o.k.», sie befinden sich jedoch zu nahe zu einem Hindernis, weshalb die Wahl dieser Landstellen jederzeit «falsch» ist. Bei MUV-Entscheidungen wurden diese Landstellen signifikant häufiger gewählt, jedoch insgesamt in weniger als 10% aller Fälle. Zudem ist die Effektstärke dieses Unterschiedes geringer als bei den anderen. Der

Unterschied kommt möglicherweise daher, dass bei einigen wenigen MUV-Entscheidungen die Abstände dieser Landstellen zu den Hindernissen nicht mehr richtig eingeschätzt wurden. Zusammengefasst lässt sich jedoch sagen, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch bei den Entscheidungen unter Zeitdruck die Entscheidungen verändert haben.

An diesem Punkt halte ich fest, dass in dieser Studie sowohl bei Entscheidungen ohne wie auch unter Zeitdruck die Unsicherheitsvisualisierungen das Ergebnis von Entscheidungen insofern verändert haben, als sich die Teilnehmer teilweise für andere Optionen entschieden. Generell haben folglich Unsicherheitsvisualisierungen auf beide Entscheidungen mit unterschiedlicher Zeitbedingung einen Effekt.
Werden Landstellen ohne Unsicherheiten bevorzugt?

In den vorherigen Abschnitten wurde basierend auf den Ergebnissen des Analyseverfahrens 2 diskutiert, dass die Teilnehmer beider Gruppen bei MUV-Entscheidungen möglicherweise aufgrund der Verlustaversion signifikant häufiger die Option gewählt haben, die weiter vom Zielobjekt entfernt liegt dafür aber auch mit Unsicherheiten in jedem Fall als Landstelle geeignet ist. Aus der Auswertung des Analyseverfahrens 2 geht jedoch nicht hervor, ob die Teilnehmer bei MUV-Entscheidungen häufiger Landstellen ohne oder mit Unsicherheiten gewählt haben, weshalb diese Analyse separat in Kapitel 5.3.6. durchgeführt wurde. Die Auswertung zeigte, dass sowohl die Teilnehmer der OZ- wie auch der UZ-Gruppe etwa gleich häufig Landstellen ohne und mit Unsicherheiten gewählt haben. Des Weiteren zeigte die Auswertung, dass nicht nur innerhalb der Gruppe, sondern auch zwischen den zwei Gruppen keine Unterschiede zwischen den Häufigkeiten, mit denen sichere und unsichere Landstellen gewählt wurden, ausgemacht werden können.

Diese Erkenntnis ist etwas überraschend. Ellsberg (2001 zit. in Hope und Hunter 2007b) hielt in seinem Werk über Risiken und Ungewissheit fest, dass Menschen es grundsätzlich bevorzugen, mit sicheren statt mit unsicheren Daten zu arbeiten. In diesem Zusammenhang stellten Hope und Hunter (2007b) in ihrer Studie fest, dass die Teilnehmer signifikant häufiger sichere als unsichere Regionen gewählt hatten. Nach diesem Prinzip müssten sich die Teilnehmer auch in dieser Studie signifikant häufiger für die sicheren Landstellen entschieden haben, was jedoch nicht der Fall war. Die Erkenntnisse entsprechen also nicht der Annahme von Ellsberg (2001 zit. in Hope und Hunter 2007b) über den Umgang mit sicheren bzw. unsicheren Daten. Anders als bei Kübler (2016), die feststellte, dass signifikant häufiger Häuser in unsicheren Gefahrenzonen gewählt wurden, wurden jedoch auch nicht – ganz entgegen der Annahme – häufiger Landstellen in unsicheren Gebieten gewählt.

Hat die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf die Entscheidungen?

Die persönlichen Eigenschaften von Entscheidungsträgern könnten einen Einfluss auf deren Entscheidungsverhalten haben (Kinkeldey *et al.* 2015a). Da unter den Teilnehmern keine klare Gruppe mit Experten in einem oder mehreren relevanten Feldern ausgemacht werden konnte und sich die Teilnehmer auch nicht deutlich in der Häufigkeit, mit der sie in ihrer Freizeit Karten gebrauchen, unterschieden (siehe Kapitel 5.2.1.), wurde lediglich analysiert, ob die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf das

Entscheidungsverhalten hat. Die räumliche Denkfähigkeit wurde mit dem Papierfalttest von Ekstrom *et al.* (1976) gemessen. Basierend auf diesem wurden, die Teilnehmer innerhalb der OZ- und der UZ-Gruppe in zwei Denkfähigkeitsgruppen eingeteilt.

Die Auswertung zeigte, dass es weder innerhalb der OZ- noch innerhalb der UZ-Gruppe Unterschiede in den Entscheidungen zwischen den Gruppen mit tiefer und hoher räumlicher Denkfähigkeit gibt (siehe Kapitel 5.3.7.). Die räumliche Denkfähigkeit, wie sie mit dem Papierfalttest gemessen wurde, hatte also keinen Effekt auf das Entscheidungsverhalten der Teilnehmer.

Der Test mass, wie gut die Teilnehmer mental eine dimensionsübergreifende Transformation durchführen können. Da in den Entscheidungsaufgaben eine dreidimensionale Geländeoberfläche zweidimensional dargestellt wurde, hätten die Teilnehmer theoretisch eine solche Transformation mental durchführen müssen. Ich nehme jedoch an, dass aufgrund der Einteilung der Hangneigung in Klassen und der speziellen Farbgebung der Klassen, die die Teilnehmer in ihren Entscheidungen unterstützte, die Entscheidungsaufgaben genauso gut lösbar waren, wenn sie sich das Gelände nicht dreidimensional vorstellten. Aus diesem Grund hat die räumliche Denkfähigkeit, wie sie mit dem hier verwendeten Test gemessen wurde, in diesem Setting sehr wahrscheinlich keine Rolle gespielt. Auch Kübler (2016) stellte fest, dass in ihrer Studie die räumliche Denkfähigkeit keinen Einfluss auf die Entscheidungen hatte, jedoch ist diese Erkenntnis ebenfalls auf die Art der Entscheidungen zurückzuführen, die keine spezifischen räumlichen Denkfähigkeiten erforderte. Und auch Cheong *et al.* (2016) hielten fest, dass ihre Entscheidungsaufgabe zwar einen räumlichen Bezug hatte, für den Entscheidungsprozess räumliches Denken jedoch nicht massgebend war. Dies zeigt auf, dass es vermutlich stark von der Entscheidungsart und dem Kontext der Entscheidung abhängt, ob die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf die Entscheidung hat oder nicht. So bin ich der Meinung, dass die räumliche Denkfähigkeit in dieser Studie sehr wohl eine Rolle gespielt hätte, wenn statt der Hangneigungskarte nur das DHM und Höhenlinien verwendet worden wären, aus denen die Teilnehmer die Hangneigung selber hätten herauslesen müssen.

6.2.2. Effekte auf die Entscheidungssicherheit

In diesem Kapitel soll, basierend auf den Resultaten der Fragen zur Entscheidungssicherheit (siehe Kapitel 5.3.8.), diskutiert werden, welchen Einfluss die Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungssicherheit haben. Theoretisch sind zwei gegensätzliche Effekte denkbar. Visualisierte Unsicherheiten können als etwas Negatives in den Daten betrachtet werden und daher bewirken, dass die Entscheidungssicherheit abnimmt. Visualisierte Unsicherheiten können jedoch auch als etwas Positives, das die übrigen Informationen weiterführend erklärt, betrachtet werden und daher bewirken, dass die Entscheidungssicherheit steigt (Keuper 2004).

In der hier vorliegenden Studie gibt es weder Unterschiede in der Entscheidungssicherheit innerhalb einer Gruppe zwischen OUV- und MUV-Entscheidungen noch zwischen den zwei Gruppen, da die Entscheidungssicherheit durchschnittlich stets zwischen «neutral» und «sicher» liegt. Weder die Unsicherheitsvisualisierungen noch der Zeitdruck hatten also einen Einfluss darauf, wie sicher sich die Teilnehmer hinsichtlich ihrer Entscheidung waren.

Die Erkenntnis, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit haben, entspricht der derzeit allgemein vertretenen Meinung. Wie im Forschungskontext unter Kapitel 2.8.2. erläutert wurde, fanden weder Leitner und Buttenfield (2000) noch Deitrick und Edsall (2006) sowie Riveiro *et al.* (2014) einen Effekt von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungssicherheit. Nach Kinkeldey *et al.* (2015a) konnten positive Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungssicherheit bisher vor allem im nicht-räumlichen Kontext nachgewiesen werden.

Interessant an dieser Stelle ist die zweite Korrelationsanalyse in Kapitel 5.3.8., in der ermittelt wurde, ob die Entscheidungssicherheit mit der gewählten Landstellenart bei MUV-Entscheidungen korreliert. Während bei MUV-Entscheidungen die Entscheidungssicherheit nicht grundsätzlich höher ist als bei OUV-Entscheidungen, konnte gezeigt werden, dass die Wahl einer Landstelle mit Unsicherheiten bei der OZ-Gruppe (und nur bei dieser) mit höheren Entscheidungssicherheiten korreliert. Dies impliziert, dass die alleinige Anwesenheit von Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungssicherheit nicht erhöht, sondern die Entscheidungssicherheit nur höher ist, wenn auch wirklich eine Option mit Unsicherheiten gewählt wird. Dies ist eine interessante Feststellung, die meines Wissens so noch in keiner Studie im räumlichen Kontext gemacht wurde. Die oben genannten Autoren analysierten allesamt, ob Unsicherheitsvisualisierungen generell die Entscheidungssicherheiten beeinflussten, jedoch nicht spezifisch, ob die Entscheidungssicherheit mit der Wahl einer Option mit Unsicherheiten oder ohne korreliert.

Um die Forschungsfrage 1 mithilfe der zusammengetragenen Erkenntnisse zu beantworten, halte ich an dieser Stelle fest, dass in dieser Studie Unsicherheitsvisualisierungen generell sowohl einen Effekt auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen ohne als auch unter Zeitdruck haben. Die Hypothese, die basierend auf den Erkenntnissen des aktuellen Forschungsstandes in Kapitel 3. aufgestellt wurde, kann somit bestätigt werden. Ich nehme an, dass die unterschiedlichen Entscheidungen auf die Verlustaversion zurückzuführen sind und die Teilnehmer die möglichen Verluste durch die Unsicherheiten höher einschätzen als die möglichen Gewinne. Während die räumliche Denkfähigkeit keinen Einfluss auf die Entscheidungen hat, wäre es also denkbar, dass stattdessen die Risikoeinstellung der Teilnehmer das Entscheidungsverhalten beeinflusste. Des Weiteren ist festzuhalten, dass Unsicherheitsvisualisierungen weder bei Entscheidungen ohne noch unter Zeitdruck einen Effekt auf die Entscheidungssicherheit haben, was der derzeit allgemein vertretenen Meinung entspricht. Bei Entscheidungen ohne Zeitdruck konnte jedoch gezeigt werden, dass die Wahl einer Landstelle mit Unsicherheiten mit höheren Entscheidungssicherheiten korreliert.

6.3. Forschungsfrage 2: Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsprozesse bei komplexen kartenbasierten Entscheidungen

6.3.1. Effekte auf die Entscheidungszeit

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Bei der Analyse der Entscheidungszeiten in Kapitel 5.3.9. hat sich gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe durchschnittlich 26.44s für OUV- und 30.63s für MUV-Entscheidungen benötigten und sich

die Entscheidungszeiten somit signifikant voneinander unterscheiden. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass die Unsicherheitsvisualisierungen dazu führten, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe signifikant länger brauchten, um zu einer Entscheidung zu gelangen.

Diese Erkenntnis bestätigt leider die entsprechende Literatur nicht (siehe Kapitel 2.8.4.), denn in den meisten Fällen wurde festgestellt, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Einfluss auf die Entscheidungszeit haben (z.B. in den Studien von Leitner und Buttenfield 2000, Riveiro *et al.* 2014 oder Kübler 2016) und die Teilnehmer daher gleich lang für Entscheidungen ohne wie auch mit Unsicherheitsvisualisierungen benötigen. Ausserdem führten Unsicherheitsvisualisierungen in einem Fall (Andre und Cutler 1998) sogar zu kürzeren Entscheidungszeiten.

In dieser Studie mussten die Teilnehmer komplexe, multikriterielle Entscheidungsaufgaben lösen, jedoch handelte es sich auch bei den Entscheidungsaufgaben von Riveiro *et al.* (2014) und Kübler (2016) um komplexe, multikriterielle Aufgaben. Die Diskrepanz zwischen den Resultaten hier und denjenigen aus Literatur muss also einen anderen Grund haben als die Komplexität der Entscheidungsaufgaben.

Hope und Hunter (2007a) hielten fest, dass die Unsicherheitsvisualisierungstechnik einen extrem signifikanten Einfluss auf Entscheidungen haben kann. Kübler (2016) konnte zudem nachweisen, dass verschiedene Unsicherheitsvisualisierungstechniken zu signifikant unterschiedlichen Entscheidungszeiten führen können. Es ist daher denkbar, dass die Diskrepanz zur bestehenden Literatur auf die hier angewendete Unsicherheitsvisualisierungstechnik zurückzuführen ist, denn keiner der genannten Autoren setzte nur eine Textur als Unsicherheitsvisualisierung ein, wie es in dieser Studie getan wurde. Kübler (2016) setzte drei verschiedene Techniken ein, wovon eine texturbasiert war. In ihrer Studie führte allerdings nicht die Textur zu signifikant längeren Entscheidungszeiten, sondern die Verschwommenheit. Wie im Forschungskontext erläutert, verglichen Cheong *et al.* (2016) den Einfluss von sechs verschiedenen Unsicherheitsvisualisierungstechniken auf Entscheidungen. Eine dieser Techniken war eine punktbasierte Textur (siehe Abb. 23). In Bezug auf die Entscheidungszeiten stellten sie fest, dass die Teilnehmer mit der Textur und zwei weiteren Techniken etwas länger brauchten, um zu einer Entscheidung zu gelangen, als mit den anderen drei Visualisierungstechniken. Die Unterschiede bewegten sich jedoch im Hundertstelbereich. In der bestehenden Literatur finden sich also keine klaren Indizien dafür, dass hauptsächlich texturbasierte Unsicherheitsvisualisierungen zu längeren Entscheidungszeiten führen, weshalb die verlängerte Entscheidungszeit in dieser Studie nicht eindeutig auf die verwendete Unsicherheitsvisualisierungstechnik zurückzuführen ist.

Leitner und Buttenfield (2000) sehen in den gleichbleibenden Entscheidungszeiten einen Beweis dafür, dass Unsicherheitsvisualisierungen nicht als zusätzliches Kartenelement empfunden werden, denn sie konnten in derselben Studie zeigen, dass zusätzliche Kartenelemente die Entscheidungszeiten verlängern. Kübler (2016) nimmt aufgrund der gleichbleibenden Entscheidungszeiten an, dass die Unsicherheitsvisualisierungen die Teilnehmer nicht verwirrt haben und sie diese eher als Entscheidungshilfe denn als zusätzliche Komplexität wahrgenommen haben.

Möglicherweise haben die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Unsicherheitsvisualisierungen in dieser Studie als zusätzliche Komplexität wahrgenommen und daher für Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen mehr Zeit benötigt. In den Kommentaren der Nachbefragung sagte ein Teilnehmer, dass er die Aufgaben schwierig fand, weil es viele verschiedene Informationen gleichzeitig gab und ihm die Gewichtung der Unsicherheit im Vergleich zur Gewichtung der Entfernung und der Hangneigung Mühe bereitete. Dieser Aussage ist zu entnehmen, dass er wohl die Unsicherheit als zusätzliches Kartenelement wahrgenommen hat, dem er zusätzlich eine Gewichtung zuweisen musste, um zu einer Entscheidung zu gelangen. Es handelt sich dabei jedoch um eine Einzelaussage. Kein weiterer Teilnehmer äusserte sich zu Unsicherheitsvisualisierungen im Zusammenhang mit möglicher zusätzlicher Komplexität. Aus diesem Grund kann nicht abschliessend gesagt werden, ob die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Unsicherheitsvisualisierungen als Bürde wahrnahmen und daher länger für die Entscheidungen mit Unsicherheiten benötigten.

Was der wirkliche Grund dafür ist, dass in dieser Studie Unsicherheitsvisualisierungen bei Entscheidungen ohne Zeitdruck zu längeren Entscheidungszeiten geführt haben, dazu kann an diesem Punkt leider keine Aussage gemacht werden. Mithilfe der Resultate der *Eye Tracker*-Analysen wird jedoch in den nächsten zwei Unterkapiteln versucht, der Sache auf den Grund zu gehen. Zusammenfassend haben die obigen Ausführungen gezeigt, dass es mehrere mögliche Gründe gibt, weshalb in dieser Studie – anders als in der Literatur – Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungszeiten verlängert haben.

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die Auswertung der Entscheidungszeiten der UZ-Gruppe hat ergeben, dass die Teilnehmer bei OUV-Entscheidungen durchschnittlich 15.24s und bei MUV-Entscheidungen durchschnittlich 15.39s benötigten, um sich für eine Landestelle zu entscheiden. Anders als bei der OZ-Gruppe unterscheiden sich daher die Entscheidungszeiten für Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten nicht voneinander. An dieser Stelle kommt vielleicht die Frage auf, ob dies überhaupt möglich ist, schliesslich hatten die Teilnehmer der UZ-Gruppe ja nur eine deutlich begrenzte Zeit für ihre Entscheidung zur Verfügung. Die durchschnittlichen Entscheidungszeiten liegen allerdings beinahe 10s unter dem verwendeten Zeitlimit von 25s. Bei beiden Entscheidungsarten hatten die Teilnehmer der UZ-Gruppe also mehr Zeit zur Verfügung, als sie durchschnittlich benötigten. Angesichts der Tatsache, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe für Entscheidungen mit Unsicherheiten durchschnittlich 4.19s länger brauchten, kann geschlossen werden, dass auch die Teilnehmer der UZ-Gruppe für Entscheidungen mit Unsicherheiten mehr Zeit hätten beanspruchen können, was jedoch nicht der Fall war.

Weshalb die Teilnehmer der UZ-Gruppe anders als die Teilnehmer der OZ-Gruppe für Entscheidungen mit visualisierten Unsicherheiten nicht länger benötigten, ist schwierig zu sagen. Im Zusammenhang mit der Entscheidungsforschung wurde darauf hingewiesen, dass bei Entscheidungen unter Zeitdruck wie auch bei Entscheidungen unter Unsicherheit Heuristiken angewendet werden (Tversky und Kahneman 1974, Maule und Edland 1997). Wie in Kapitel 2.9.2. ausgeführt, sind Maule und Edland (1997) der Meinung, dass Entscheidungsträger unter Zeitdruck eine Beschleunigungs-, Filtrations- und

Auslassungsstrategie anwenden. Es ist vorstellbar, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Informationen, die sie prozessierten, auf eine gewisse Menge beschränkten, indem sie eine Filtrations- und/oder Auslassungsstrategie anwendeten, weshalb in der Folge für Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten etwa gleich lang benötigt wurde. Es handelt sich hierbei jedoch bloss um eine Möglichkeit, eine fundiertere Aussage dazu kann an diesem Punkt nicht gemacht werden.

6.3.2. Effekte auf die Prozessierung verschiedener Elemente der gesamten Kartenansicht

Um mehr über die Entscheidungsprozesse zu erfahren, wurde in Kapitel 5.3.10. analysiert, wie häufig und wie lange die Teilnehmer die einzelnen Elemente der gesamten Kartenansicht betrachtet hatten. Mithilfe der Resultate dieser Analysen wird nachfolgend diskutiert, welchen Effekt Unsicherheitsvisualisierungen auf die Prozessierung der gesamten Kartenansicht haben und weshalb die Teilnehmer der OZ-Gruppe, anders als diejenigen der UZ-Gruppe, für Entscheidungen mit Unsicherheiten möglicherweise länger benötigten. Um die Diskussion etwas zu erleichtern, ist untenstehend (siehe Abb. 72) nochmals eine Grafik zu den Resultaten abgedruckt (sie setzt sich zusammen aus der Abb. 61 und der Abb. 63).

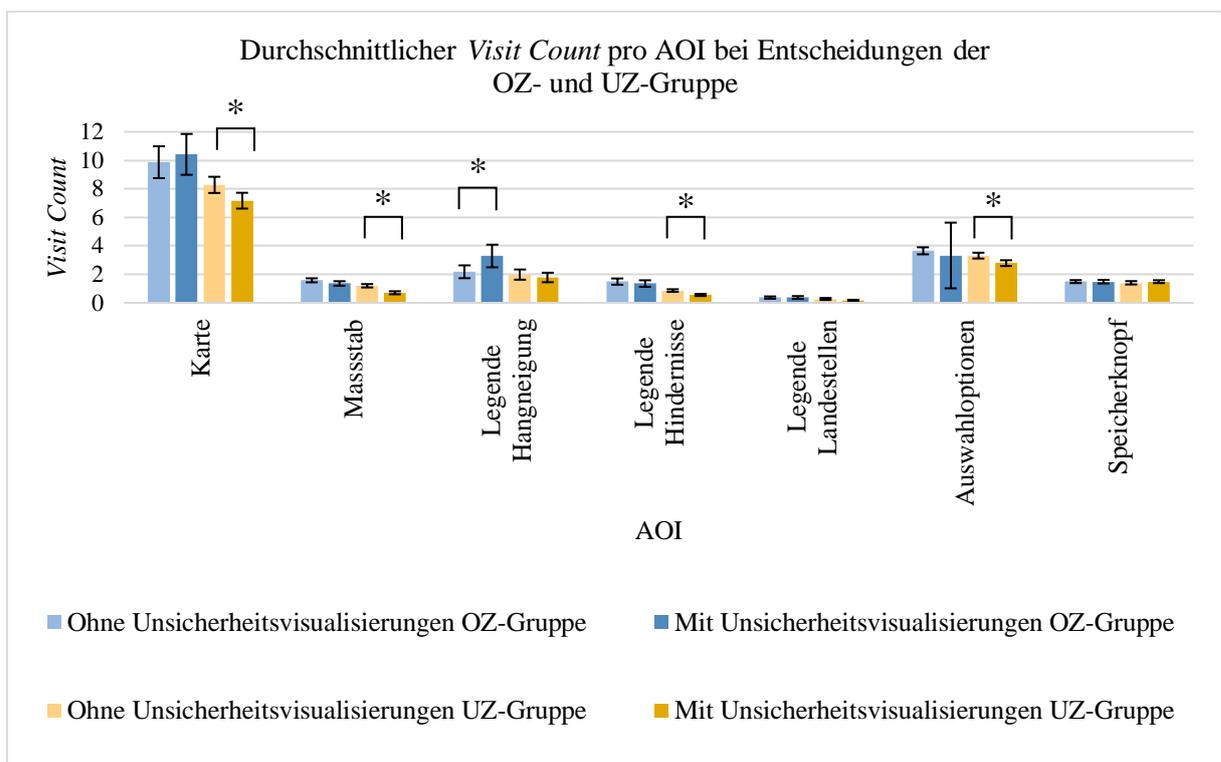


Abb. 72: Vergleich der durchschnittlichen *Visit Counts* aller AOIs bei OUV- und MUV-Entscheidungen der OZ- und UZ-Gruppe (es wurde nur auf statistische Signifikanz innerhalb einer Gruppe getestet, nicht aber zwischen den Gruppen, Mittelwerte \pm 1 Standardfehler).

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Die Analyse der *Eye Tracker*-Daten auf der Ebene der gesamten Kartenansicht hat gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe durchschnittlich 9.8 Mal bei OUV- und 10.4 Mal bei MUV-Entscheidungen die Karte betrachteten und es somit in Bezug auf die Häufigkeit, mit der die Karte betrachtet wurde, zwischen den zwei Entscheidungsarten keine Unterschiede gibt. Der einzige Unterschied konnte in der

Häufigkeit, mit der die Legende zur Hangneigung betrachtet wurde, festgestellt werden. Bei MUV-Entscheidungen betrachteten die Teilnehmer diese Legende durchschnittlich etwas häufiger (siehe Abb. 72).

Besonders interessant an dieser Stelle sind die durchschnittlichen *Total Visit Durations*. Die Auswertung dieser ergab, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei MUV-Entscheidungen die Karte, die Legende zur Hangneigung sowie den Speicherknopf signifikant länger betrachteten als bei OUV-Entscheidungen. Die Legende zu den Hindernissen schauten sie hingegen signifikant kürzer an (siehe Abb. 62). Die Unterschiede beim Speicherknopf sowie der Legende zu den Hindernissen bewegen sich allerdings nur im Hundertstel- bzw. Zehntelbereich.

In Verbindung mit den Erkenntnissen über die durchschnittlichen *Visit Counts* bedeutet das, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten die Elemente gleich häufig betrachteten, einzelne Elemente bei jeder Betrachtung jedoch länger angeschauten. Dies hat schliesslich sehr wahrscheinlich zu den durchschnittlich längeren Entscheidungszeiten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten geführt.

Um an die Diskussion im vorherigen Unterkapitel anzuknüpfen, könnten die längeren Betrachtungszeiten der Karte und der Legende zur Hangneigung Indizien dafür sein, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Unsicherheitsvisualisierungen tatsächlich als zusätzliches Kartenelement empfunden haben. Womöglich hatten sie etwas Mühe mit den Unsicherheitsvisualisierungen, denn zusätzlich zur Karte betrachteten sie genau die Legende, die die Unsicherheitsvisualisierungen erläutert, länger.

Da die *Eye Tracking*-Methode in der Forschung über räumliche Unsicherheitsvisualisierungen anders als in der Forschung über allgemeine Informationsvisualisierung (siehe beispielsweise Goldberg und Helfman 2010, 2011 oder Toker *et al.* 2017) noch kaum Anwendung fand, ist es schwierig, diese Ergebnisse in den grösseren Kontext zu setzen. Brus *et al.* (2012) gehören zu den sehr wenigen, die ebenfalls mithilfe der *Eye Tracking*-Methode untersuchten, wie Teilnehmer Aufgaben lösen und Entscheidungen treffen mit Karten, in denen Unsicherheiten visualisiert sind. Sie publizierten zwar nur vorläufige Resultate, hielten aber am Ende generell fest, dass die Unsicherheitsvisualisierungen die Augenbewegung bezüglich aller *Eye Tracking*-Messgrössen, die sie testeten, verändert hatten. Sie konnten also ebenfalls feststellen, dass, wie hier bei der OZ-Gruppe, die Augenbewegungen unterschiedlich ausfallen bei Aufgaben ohne und mit Unsicherheiten. Zudem konnten sie durch die *Eye Tracking*-Analyse feststellen, dass besonders die Legende zu den Unsicherheitsvisualisierungen die Aufmerksamkeit der Teilnehmer auf sich zog, weshalb sie zum Schluss kamen, dass es besonders wichtig ist, die Unsicherheiten in einer Legende festzuhalten. Auch dieses Phänomen konnte wie bereits diskutiert bei der OZ-Gruppe beobachtet werden, denn der Legende zur Hangneigung hatten die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten ebenfalls mehr Aufmerksamkeit geschenkt.

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die Auswertung der durchschnittliche *Visit Counts* bei der UZ-Gruppe ergab, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten im Vergleich zu Entscheidungen ohne Unsicherheiten signifikant weniger häufig die Karte, den Massstab, die Legende zu den Hindernissen sowie die Auswahloptionen betrachtet hatten (siehe Abb. 72). Das bedeutet, dass die Teilnehmer bei Entscheidungen mit Unsicherheiten insgesamt weniger zwischen den einzelnen Elementen hin und her wechselten. Somit legten sie ein völlig anderes Verhalten an den Tag als die Teilnehmer der OZ-Gruppe.

Bei der Analyse der *Total Visit Durations* (siehe Abb. 64) konnte aufgezeigt werden, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten kein Element länger betrachteten, wie es bei den Teilnehmern der OZ-Gruppe der Fall war, sondern stattdessen sogar zwei Elemente, den Massstab und die Auswahloptionen, durchschnittlich signifikant weniger lang anschauten. Die Karte sowie die Legende zur Hangneigung, die bei den Entscheidungen mit Unsicherheiten potentiell komplexer waren, betrachteten sie ebenso wie die restlichen drei Elemente bei beiden Entscheidungsarten durchschnittlich gleich lang.

Die durchschnittlich gleichbleibenden oder kürzeren Betrachtungszeiten pro Element implizieren zusammen mit den durchschnittlich weniger häufigen Betrachtungen pro Element, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten seltener zwischen den Elementen gewechselt haben, dafür jedes Element etwas länger (oder im Fall des Massstabes und der Auswahloptionen gleich lang oder kürzer) betrachtet haben als bei Entscheidungen ohne Unsicherheiten. Dieses Verhalten resultiert anders als das Verhalten der Teilnehmer der OZ-Gruppe nicht in insgesamt längeren Entscheidungszeiten, weshalb wohl die UZ-Gruppe durchschnittlich für beide Entscheidungsarten gleich lange benötigt hat.

6.3.3. Effekte auf die Prozessierung verschiedener Auswahloptionen bei Karten mit Unsicherheiten

In diesem Unterkapitel soll basierend auf den Resultaten aus Kapitel 5.3.11. nur das Verhalten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten diskutiert werden, wobei nicht mehr die gesamte Kartenansicht von Interesse ist, sondern nur noch die einzelnen zur Auswahl stehenden Landestellen.

Entscheidungen ohne Zeitdruck

Die Analyse der durchschnittlichen *Visit Counts* pro Landstellenart hat ergeben, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe eine Landestelle ohne Unsicherheiten durchschnittlich 1.5 Mal betrachteten, während sie Landestellen mit Unsicherheiten 2.1 Mal anschauten, was signifikant häufiger ist (siehe Abb. 66). Die Auswertung der *Total Visit Duration* pro Landstellenart hat zusätzlich gezeigt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Landestellen mit Unsicherheiten durchschnittlich signifikant länger betrachteten. Dies bedeutet zusammengefasst, dass die Teilnehmer jede Landestelle mit Unsicherheit durchschnittlich häufiger betrachteten jedoch pro Betrachtung gleich lang bei ihnen verweilten wie bei Landestellen ohne Unsicherheiten, was insgesamt zu durchschnittlich längeren *Total Visit Durations* führt. Die Unsicherheitsvisualisierungen haben also dazu geführt, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe die von

den Unsicherheitsvisualisierungen betroffenen Landstellen häufiger betrachten mussten, um sich klar darüber zu werden, wie sie diese in die Entscheidung miteinbeziehen.

Ich nehme an, dass die häufigere und somit insgesamt längere Betrachtung der Landstellen mit Unsicherheitsvisualisierungen dazu führte, dass die Teilnehmer die Karten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten länger betrachteten, was wohl wiederum dazu führte, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe für Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen signifikant länger benötigten.

An diesem Punkt möchte ich die Erkenntnis aus Forschungsfrage 1, nämlich dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe nicht signifikant häufiger Landstellen in unsicheren Gebieten gewählt haben, in Erinnerung rufen. Zusammen mit der hier gewonnenen Erkenntnis stellt sich heraus, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe die Landstellen mit Unsicherheiten zwar häufiger und somit insgesamt länger betrachtet hatten, sie jedoch nicht häufiger wählten. Letztendlich wurden also nicht die Elemente, denen mehr Aufmerksamkeit geschenkt worden war, auch häufiger gewählt.

An dieser Stelle wäre interessant zu wissen, ob die Teilnehmer in anderen Effekt-Studien ebenfalls diejenigen Elemente häufiger und/oder länger betrachtet haben, die Unsicherheiten aufweisen. Da es wie bereits erwähnt kaum Vergleichsstudien gibt, kann an dieser Stelle nur auf die Studie von Kübler (2016) Bezug genommen werden. Sie untersuchte mithilfe der *Eye Tracker*-Daten, weshalb die Teilnehmer bei der Visualisierung der Unsicherheiten mittels Verschwommenheit signifikant längere Entscheidungszeiten hatten im Vergleich zu Visualisierungen der Unsicherheiten mittels anderer Techniken. Dabei fand sie heraus, dass die Teilnehmer bei Visualisierungen der Unsicherheiten mittels Verschwommenheit signifikant länger die Grenzen (also die Unsicherheitsvisualisierungen) angeschaut hatten. Sie war der Meinung, dass diese längere Betrachtungszeit die Ursache für die längere Entscheidungszeit war. Zudem nahm sie an, dass die Teilnehmer Mühe hatten, die Verschwommenheit der Grenzen zu interpretieren, weshalb sie diese länger anschauten. Kübler (2016) konnte zusammengefasst ebenfalls beobachten, dass eine längere Betrachtung des Elements mit Unsicherheiten zu längeren Entscheidungszeiten führt. Sie führte die längere Betrachtung darauf zurück, dass die Visualisierungen der Unsicherheit mit der Verschwommenheitstechnik schwierig zu interpretieren waren.

Ob dies in dieser Studie auch der Grund für die längere Betrachtung der Landstellen mit Unsicherheiten ist, ist schwierig zu sagen. Eine weitere mögliche Begründung lässt sich in der Visuellen-Salienz-Hypothese (englisch: *visual saliency hypothesis*, der Begriff wird v.a. von Henderson *et al.* 2007 verwendet) finden. Diese besagt, dass die Augenbewegungen eine Reaktion sind auf die visuellen Eigenschaften des Stimulus. Nach dieser Hypothese werden also diejenigen Elemente im Stimulus (hier in der Karte) häufiger oder länger betrachtet, die aufgrund der visuellen Salienz die Aufmerksamkeit der Teilnehmer auf sich ziehen (Henderson *et al.* 2007). Demzufolge ist es denkbar, dass unsichere Regionen salienter sind und die Landstellen in diesen Regionen daher länger betrachtet wurden. Zu dieser Begründung gibt es jedoch als Gegenargument die Kognitive-Steuerungs-Hypothese (englisch: *cognitive control hypothesis*, der Begriff wird v.a. von Henderson *et al.* 2007 verwendet), die besagt, dass die Augenbewegungen hauptsächlich eine Reaktion auf die Bedürfnisse des kognitiven Systems sind, die

aufgrund der zu lösenden Aufgabe entstehen (Henderson *et al.* 2007). Nach dieser Hypothese werden diejenigen Elemente genauer betrachtet, die bei der Informationsbeschaffung für die Aufgabe besonders relevant sind.

Da die Salienz der einzelnen Kartenelemente nicht ermittelt wurde, kann keine abschliessende Aussage darüber gemacht werden, ob die Landstellen mit Unsicherheiten die visuelle Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben und die längeren Betrachtungszeiten womöglich darauf zurückzuführen sind oder ob die Teilnehmer die Unsicherheiten nicht verstanden haben oder ob es noch weitere, hier nicht ange dachte Begründungen für die häufigeren und längeren Betrachtungszeiten der Landstellen mit Unsicherheiten gibt.

Entscheidungen unter Zeitdruck

Die Analyse der durchschnittlichen *Visit Counts* pro Landstellenart hat gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe eine Landstelle ohne Unsicherheiten durchschnittlich 1.0 Mal und eine Landstelle mit Unsicherheiten 1.2 Mal betrachteten (siehe Abb. 67), weshalb es, anders als bei der OZ-Gruppe, keine signifikanten Unterschiede in den Häufigkeiten gibt, mit denen die zwei Landstellenarten angeschaut wurden. Die Auswertung der *Total Visit Duration* pro Landstellenart hat hingegen gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe eine Landstelle mit Unsicherheiten durchschnittlich signifikant länger betrachteten als eine ohne Unsicherheiten. Der durchschnittliche Unterschied beträgt jedoch knapp 2 Zehntelsekunden und die Effektstärke ist schwach.

Zusammengefasst hat die Auswertung also gezeigt, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe, anders als die Teilnehmer der OZ-Gruppe, Landstellen mit Unsicherheiten nicht öfters anschauen mussten, um sich bewusst zu werden, wie sie diese in die Entscheidung miteinbeziehen. Zudem schauten sie sie auch nur minimal länger an. Ich nehme an, dass das soeben beschriebene Verhalten schliesslich dazu geführt hatte, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe die gesamte Karte bei Entscheidungen mit Unsicherheiten nicht länger betrachtet hatten, was wohl wiederum dazu geführt hatte, dass sie insgesamt für beide Entscheidungsarten durchschnittlich gleich lang benötigt hatten.

Um die hier gewonnen Erkenntnisse zusammenzufassen und die Forschungsfrage 2 zu beantworten, halte ich fest, dass in dieser Studie Unsicherheitsvisualisierungen einen Effekt auf die Entscheidungsprozesse haben, die komplexen kartenbasierten Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck vorangehen. Anders als häufig in der Literatur dokumentiert, haben die Unsicherheitsvisualisierungen bei Entscheidungen ohne Zeitdruck zu längeren Entscheidungszeiten geführt. Dies ist sehr wahrscheinlich damit zu begründen, dass einige Elemente der gesamten Kartenansicht, in diesem Fall hauptsächlich die Karte selbst, länger betrachtet wurden bei Entscheidungen mit Unsicherheiten, was wiederum darauf zurückzuführen ist, dass Landstellen in unsicheren Regionen häufiger und somit länger betrachtet wurden als Landstellen in sicheren Regionen. Bei den Teilnehmern der UZ-Gruppe konnten keine so deutlichen Veränderungen der Entscheidungsprozesse aufgrund der Unsicherheitsvisualisierungen festge-

stellt werden. So waren die Entscheidungszeiten nicht signifikant länger. Jedoch wechselten die Teilnehmer bei Entscheidungen mit Unsicherheiten weniger häufig zwischen den Elementen hin und her, so dass sie die einzelnen Elemente weniger häufig betrachteten, was ebenfalls eine Veränderung des Prozesses darstellt.

6.4. Forschungsfrage 3: Unterschiede zwischen den komplexen kartenbasierten Entscheidungen sowie Entscheidungsprozessen ohne und unter Zeitdruck

In der Diskussion der vorherigen zwei Forschungsfragen wurde fortlaufend auf Unterschiede oder Gemeinsamkeiten zwischen Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck hingewiesen. In diesem Kapitel werden einige dieser Unterschiede und Gemeinsamkeiten nochmals aufgegriffen und ausführlicher diskutiert.

6.4.1. Unterschiede/Gemeinsamkeiten in der Korrektheit der Entscheidungen

In Kapitel 2.9.2. wurde diskutiert, dass Zeitdruck sowohl einen negativen wie auch einen positiven Einfluss auf die Korrektheit von Entscheidungen haben kann. Daher wurde im Kapitel 5.3.5. analysiert, ob die Teilnehmer der OZ-Gruppe bei OUV-Entscheidungen korrektere Entscheidungen getroffen haben als die Teilnehmer der UZ-Gruppe.

Die Analyse zeigte, dass die Teilnehmer der OZ-Gruppe in 91.9% und die Teilnehmer der UZ-Gruppe in 88.3% aller Fälle «korrekte» Entscheidungen getroffen haben. Die UZ-Gruppe traf also etwas weniger «korrekte» Entscheidungen. Die Differenz in der Korrektheit der Entscheidungen ist allerdings nicht signifikant, weshalb zusammengefasst gesagt werden kann, dass der Zeitdruck keinen negativen Effekt auf die Entscheidungen hatte.

Dies kann mit der Theorie, dass der Zusammenhang zwischen Zeitdruck und der Korrektheit von Entscheidungen umgekehrt U-förmig ist (Hwang 1994), begründet werden. Nach dieser Theorie erhöht ein geringer bis mittlerer Zeitdruck die Entscheidungsleistung, da Zeitdruck generell die Aufgabenschwierigkeit erhöht, was wiederum dazu führen kann, dass der Entscheidungsträger sich seinem Ziel stärker verbunden fühlt (Peters *et al.* 1984, Hwang 1994). Die Theorie wurde im nicht-räumlichen Kontext entwickelt, Wilkening (2012) konnte jedoch nachweisen, dass sie auch auf Entscheidungen im geographischen Kontext zutrifft.

Wie sich in Kapitel 5.4.2. herausgestellt hat, empfanden die Teilnehmer der UZ-Gruppe die Entscheidungsaufgaben signifikant schwieriger als die Teilnehmer der OZ-Gruppe. Folglich konnte gezeigt werden, dass der Zeitdruck die Aufgabenschwierigkeit erhöht hat. Ich führe die gleichbleibende Korrektheit trotz Zeitdruck also darauf zurück, dass die Zielbindung der UZ-Teilnehmer vermutlich etwas grösser war als diejenige der OZ-Teilnehmer.

Um abschliessend mit Sicherheit sagen zu können, dass der Zusammenhang zwischen Zeitdruck und Entscheidungsleistung auch in dieser Studie umgekehrt U-förmig ist, hätten statt einem mehrere Zeitlimits verwendet werden müssen. Wird nur ein Zeitlimit verwendet, ist es schwierig, exakt das Zeitlimit zu wählen, welches gross genug ist, einen Zeitdruck auszulösen, jedoch nicht so gross, dass die Leistung

stark abnimmt. Aus den hier gewonnenen Erkenntnissen lässt sich schliessen, dass das gewählte Zeitlimit in etwa einem mittleren Zeitdruck entsprach, denn ein grosser Zeitdruck hätte zu einer Abnahme der Entscheidungsleistung geführt.

6.4.2. Unterschiede/Gemeinsamkeiten bei den Entscheidungen

Aufgrund Ergebnisse des Analyseverfahrens 1 entsteht der Eindruck, dass Unsicherheitsvisualisierungen zwar einen Einfluss auf Entscheidungen ohne Zeitdruck haben, jedoch nicht auf Entscheidungen unter Zeitdruck. Mithilfe des Analyseverfahrens 2 wird allerdings klar, dass dies wohl auf die Eigenheiten des Analyseverfahrens 1 zurückzuführen ist, denn das Analyseverfahren 2 zeigt auf, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch auf Entscheidungen unter Zeitdruck einen Effekt haben. Wie bereits diskutiert, fand bei Entscheidungen mit Unsicherheiten bei beiden Gruppen das gleiche Umdenken statt. So wählten sowohl die Teilnehmer der OZ- wie auch der UZ-Gruppe bei Entscheidungen mit Unsicherheiten nicht mehr am häufigsten die Landstellen der Kategorie 8, sondern diejenigen der Kategorie 7. So mögen sich zwar die Entscheidungsprozesse zwischen Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck unterscheiden (was im nächste Unterkapitel diskutiert wird), die Ergebnisse der Entscheidungen scheinen sich jedoch in Bezug auf die Landstellen, die besonders häufig gewählt wurden, sehr ähnlich zu sein. Da bei beiden Gruppen das gleiche Muster, das wohl auf die Verlustaversion zurückzuführen ist, zu beobachten ist, entsteht der Eindruck, dass beide Gruppen die Bedeutung der Unsicherheitsvisualisierungen gleich einschätzen und sie schliesslich auch gleichermassen in ihre Entscheidung miteinbezogen. Diese Annahme wird unterstützt durch die Tatsache, dass, wie bereits in Kapitel 6.2.1. erwähnt, beide Gruppen etwa gleich häufig Landstellen in sicheren und unsicheren Regionen gewählt haben.

Ob Entscheidungsträger unter Zeitdruck Unsicherheitsvisualisierungen generell gleichermassen in ihre Entscheidungen miteinbeziehen wie Entscheidungsträger, die keinen Zeitdruck verspüren, oder ob dies nur in dieser Studie höchst wahrscheinlich der Fall war, ist leider schwierig zu sagen, denn es gibt meines Wissens keine vergleichbaren Studien. Um allgemeingültige Aussagen darüber machen zu können, müssten das Vorgehen von Entscheidungsträgern, die entweder ohne oder unter Zeitdruck entscheiden, noch viel ausführlicher analysiert und miteinander verglichen werden.

6.4.3. Unterschiede/Gemeinsamkeiten in der Entscheidungssicherheit

Im Kapitel 6.2.2. wurde bereits diskutiert, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl bei Entscheidungen ohne wie auch unter Zeitdruck keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit haben, was den Erkenntnissen der Mehrheit der Studien im Bereich räumlicher Unsicherheitsvisualisierungen entspricht. So zeigte sich bei der Analyse der Entscheidungssicherheit in Kapitel 5.3.8. ebenfalls, dass Zeitdruck keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit hat, da sich die Teilnehmer der UZ-Gruppe ihrer Entscheidungen gleich sicher waren wie die Teilnehmer der OZ-Gruppe.

Diese Erkenntnis entspricht nicht ganz den Erwartungen. Wie im Kapitel 2.9.2. erläutert, besagt das Konzept des Geschwindigkeit-Entscheidungssicherheit-Trade-offs (englisch: *speed-confidence trade-off*) nach Maule (1998 zit. in Wilkening 2012), dass sich ein Entscheidungsträger in seiner Entscheidung

umso unsicherer ist, je grösser der Zeitdruck ist. Dieser Zusammenhang konnte sowohl im nicht-räumlichen Kontext (u.a. von Smith *et al.* 1982) wie auch im räumlichen Kontext (u.a. von Wilkening 2012) nachgewiesen werden. Dementsprechend war die Erwartung, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe sich ihrer Entscheidung generell weniger sicher sein würden als die Teilnehmer der OZ-Gruppe, was jedoch nicht der Fall war.

Zakay (1985) stellte in seiner Studie (im nicht-räumlichen Kontext) fest, dass Zeitdruck wie in dieser Studie hier keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit hat. Er nimmt an, dass die Entscheidungssicherheit nicht vom Zeitdruck, sondern von der Entscheidungsstrategie beeinflusst wird. Wenden Entscheidungsträger unter Zeitdruck beispielsweise Heuristiken wie die attributweise Eliminationsregel oder die lexikographische Heuristik an (siehe Tabelle 3 in Kapitel 2.7.), bei denen nicht alle Attribute berücksichtigt werden, müssen weniger Abwägungen und Kompromisse eingegangen werden, weshalb sich die Entscheidungsträger schliesslich trotz Zeitdruck ihrer Entscheidung sicher sind.

Falls die Teilnehmer der UZ-Gruppe solche Heuristiken angewendet haben, könnte möglicherweise dies die Begründung dafür sein, weshalb es zwischen den Teilnehmern der OZ- und UZ-Gruppe keine Unterschiede in der Entscheidungssicherheit gibt. Es ist zudem vorstellbar, dass die Theorie von Zakay (1985) nicht nur auf Entscheidungen unter Zeitdruck anwendbar ist, sondern auch auf Entscheidungen mit Unsicherheiten, da bei solchen Entscheidungen nach Tversky und Kahneman (1974) ebenfalls diese Heuristiken eingesetzt werden. Folglich könnte die Theorie von Zakay (1985) auch eine Begründung dafür sein, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Effekt auf die Entscheidungssicherheit haben. Abschliessend kann jedoch keine konkrete Aussage darüber gemacht werden, ob die Teilnehmer in dieser Studie wirklich solche Heuristiken verwendet haben und sich daher möglicherweise trotz Zeitdruck und Unsicherheitsvisualisierungen bezüglich ihrer Entscheidung nicht unsicherer (jedoch auch nicht sicherer) waren.

6.4.4. Unterschiede/Gemeinsamkeiten bei den Entscheidungsprozessen

In den vorherigen drei Unterkapiteln wurde diskutiert, dass unter Zeitdruck Unsicherheitsvisualisierungen wahrscheinlich gleich in die Entscheidungen miteinbezogen wurden wie bei Entscheidungen ohne Zeitdruck und dass Zeitdruck in dieser Studie weder einen Einfluss auf die Korrektheit noch auf die Entscheidungssicherheit hatte, allerdings die Aufgabenschwierigkeit durch den Zeitdruck erhöht wurde. In der Diskussion der Entscheidungsprozesse der OZ- und UZ-Gruppe wurde hingegen bereits klar, dass sich die Entscheidungsprozesse zwischen den zwei Gruppen unterscheiden, was in diesem Unterkapitel nochmals aufgegriffen wird.

Die Teilnehmer der OZ-Gruppe benötigten für Entscheidungen mit visualisierten Unsicherheiten signifikant länger als für Entscheidungen ohne Unsicherheiten. Die Teilnehmer der UZ-Gruppe benötigten für beide Entscheidungsarten hingegen durchschnittlich gleich lange. Die Auswertung der *Eye Tracker*-Daten zeigte, dass dies sehr wahrscheinlich auf Unterschiede in der Art und Weise, wie die Informationen für die Entscheidungen gesammelt und verarbeitet wurden, zurückzuführen ist.

Die Teilnehmer der OZ-Gruppe betrachteten bei Entscheidungen mit Unsicherheiten, wie in Kapitel 6.3.2. diskutiert, sowohl häufiger die Legende zur Hangneigung wie auch signifikant länger die Karte, die Legende zur Hangneigung sowie den Speicherknopf. Grundsätzlich wechselten sie also bei MUV-Entscheidungen etwa gleich häufig zwischen den Elementen hin und her wie bei OUV-Entscheidungen, betrachteten die Elemente jedoch jeweils länger. Die Teilnehmer der UZ-Gruppe betrachteten hingegen bei Entscheidungen mit Unsicherheiten die Karte, den Massstab, die Legende zu den Hindernissen sowie die Auswahloptionen weniger häufig, während sie kein Element zeitlich länger betrachteten. Dies bedeutet, dass die Unsicherheitsvisualisierungen dazu geführt haben, dass sie weniger zwischen den Elementen hin und her wechselten. Der Fakt, dass sie die Elemente seltener aber insgesamt gleich lange betrachteten, impliziert ausserdem, dass sie bei Entscheidungen mit Unsicherheiten ebenso jedes Element etwas länger betrachtet haben.

Sowohl die Teilnehmer der OZ- wie auch der UZ-Gruppe haben also bei Entscheidungen mit visualisierten Unsicherheiten insbesondere die Karte und einige andere Elemente (wobei es sich nicht um dieselben handelt) pro Betrachtung länger angeschaut. Die Teilnehmer der UZ-Gruppe haben jedoch – anders als die Teilnehmer der OZ-Gruppe – weniger zwischen den Elementen hin und her gewechselt und sie daher insgesamt weniger häufig betrachtet, weshalb die totale Betrachtungsdauer pro Element nicht länger ist. Die Unsicherheitsvisualisierungen hatten also unterschiedliche Effekte auf die Entscheidungsprozesse, die den Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck vorangingen.

Noch deutlicher wird dies bei der Analyse, wie die einzelnen zur Auswahl stehenden Landstellen bei Entscheidungen mit Unsicherheiten prozessiert wurden. Die Teilnehmer der OZ-Gruppe betrachteten Landstellen in unsicheren Regionen häufiger und somit insgesamt länger als Landstellen in sicheren Regionen. Die Teilnehmer der UZ-Gruppe betrachteten hingegen beide Landstellenarten gleich häufig und die Landstellen in unsicheren Regionen nur minim länger.

Zusammengefasst konnte festgestellt werden, dass Unsicherheitsvisualisierungen unterschiedliche Effekte auf die Entscheidungsprozesse von Entscheidungen entweder ohne oder unter Zeitdruck haben. Um genauere (quantitative) Aussagen darüber machen zu können, inwiefern sich die Effekte unterscheiden, also inwiefern Unsicherheitsvisualisierungen einen anderen Effekt auf Entscheidungsprozesse von Entscheidungen unter Zeitdruck haben als auf diejenigen von Entscheidungen ohne Zeitdruck, müssten die Prozesse detaillierter und ausführlicher miteinander verglichen werden, was leider nicht mehr im Rahmen des in dieser Arbeit Möglichen lag. Aus demselben Grund konnte auch nicht mehr explizit untersucht werden, inwiefern sich die Entscheidungsprozesse generell unterscheiden, also ob beispielsweise von den Teilnehmern der UZ-Gruppe die in der Literatur dokumentierten Beschleunigungs-, Filtrations- und Auslassungsstrategien (Maule und Edland 1997) eingesetzt wurden.

Um die Erkenntnisse bezüglich der Forschungsfrage 3 zusammenzufassen und diese soweit als möglich zu beantworten, halte ich hier fest, dass in dieser Studie die Teilnehmer, die unter Zeitdruck standen, anders mit den Unsicherheitsvisualisierungen umgingen als die Teilnehmer, die nicht unter Zeitdruck

standen, was meiner Meinung dazu führte, dass die Teilnehmer der UZ-Gruppe im Gegensatz zu den Teilnehmern der OZ-Gruppe nicht signifikant länger für Entscheidungen mit Unsicherheiten benötigten als für Entscheidungen ohne Unsicherheiten. Trotz dieser Unterschiede in den Entscheidungsprozessen konnten in Bezug auf die Korrektheit der Entscheidungen, die Häufigkeit, mit der Landstellen in unsicheren Regionen gewählt wurden, sowie auf die Entscheidungssicherheit keine markante Unterschiede zwischen Entscheidungen ohne und unter Zeitdruck festgestellt werden.

6.5. Kritische Betrachtung der Arbeit

Die Diskussion hat gezeigt, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl bei Entscheidungen ohne wie auch unter Zeitdruck einen Effekt auf die Ergebnisse der Entscheidungen haben. Zudem veränderten die Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungsprozesse bei den Teilnehmern, die nicht unter Zeitdruck standen, was sich in längeren Entscheidungszeiten manifestierte. Die UZ-Gruppe ging anders mit den Unsicherheitsvisualisierungen um, weshalb sich wohl ihre Entscheidungszeit bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen nicht verlängert hat. In diesem letzten Unterkapitel der Diskussion wird die verwendete Methodik, die zu diesen Erkenntnissen geführt hat, kritisch reflektiert.

In vielen Studien über räumliche Unsicherheitsvisualisierungen zeigten die Karten stark vereinfachte oder gänzlich künstlich erzeugte Daten. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern die Erkenntnisse anschließend auf Situationen mit realen Daten übertragbar sind. Kübler (2016) sieht beispielsweise die Tatsache, dass sie keine realen Gefahrenzonen dargestellt hat, als grosse Einschränkung ihrer Arbeit. In dieser Studie wurden die Unsicherheiten daher, um der Realität so nahe wie möglich zu kommen, ausgerechnet. Auch für die restlichen Kartenelemente wurden nur reale, kaum vereinfachte Daten verwendet. Dennoch steht die Frage im Raum, wie realistisch das Szenario insgesamt war. Keiner der Teilnehmer besitzt einen Helikopterflugschein und noch viel weniger retten sie Personen im Gebirge aus Notsituationen. Das Szenario entsprach also keiner Alltagssituation der Teilnehmer, weshalb sie insgesamt mit sehr vielen für sie neuen Dingen konfrontiert wurden, mit denen sie sich in der Realität wohl kaum befassen würden. Mehrere Teilnehmer teilten mir jedoch innerhalb der Studie schriftlich oder nach der Studie mündlich mit, dass sie das Szenario sehr spannend und gelungen fanden und sich gut in es hineinversetzten konnten.

Des Weiteren gibt es in Bezug auf das Design der Karten einige Punkte, die anders hätten gemacht werden können. Wie die Nachbefragung zeigte, fanden viele Teilnehmer, besonders diejenigen die unter Zeitdruck standen, die Distanzschätzungen eher schwierig. Mehrere Teilnehmer merkten an, dass sie es bevorzugt hätten, wenn die Landstellensymbole statt Quadrate Kreise gewesen wären, da dann die Distanzschätzung einfacher gewesen wäre. Falls dies der einzige Grund dafür war, dass die Distanzschätzung als eher schwierig eingeschätzt wurde, hätte dieser Makel leicht vermieden werden können. Weder die Teilnehmer der Online-Vorstudie noch die Teilnehmer des Pre-Tests haben mich jedoch darauf hingewiesen, sodass ich annahm, die Symbolsätze seien gut gewählt.

Im Zusammenhang mit dem Design der Karten ist zudem zu erwähnen, dass die Karten ein teilweise sehr unterschiedliches Erscheinungsbild aufwiesen. So gab es Karten, in denen die violetten Farbtöne

(Regionen mit nicht zur Landung geeigneten Hangneigungen) stark überwogen, während in anderen Karten die Grüntöne (Regionen mit zur Landung geeigneten Hangneigungen) dominierten. Da ich jedoch mit realen Daten arbeitete, war es mir nicht möglich, Karten herzustellen, die alle die gleichen Anteile an grünen und violetten Flächen aufwiesen. Indem jede Karte zweimal vorkam, einmal ohne und einmal mit Unsicherheitsvisualisierungen, bin ich allerdings der Ansicht, dass die unterschiedlichen Erscheinungsbilder der Karten die Ergebnisse nicht allzu stark beeinflussten.

Als letzter Punkt in Bezug auf das Design der Karten möchte ich anmerken, dass die Unsicherheitsvisualisierungstechnik basierend auf den Ergebnissen der Online-Vorstudie, in der die Teilnehmer nicht unter Zeitdruck standen, gewählt wurde. Wilkening (2012) konnte zeigen, dass Entscheidungsträger unter Zeitdruck andere Kartendarstellungen bevorzugen als Entscheidungsträger ohne Zeitdruck. Die Ergebnisse von Cheong *et al.* (2016) zeigen, dass dies auch auf Unsicherheitsvisualisierungen zutrifft. Da die Unsicherheitsvisualisierungstechnik einen extrem signifikanten Einfluss auf Entscheidungen haben kann (Hope und Hunter 2007a), müsste bei Verwendung von nur einer Technik in Studien, die Zeitdruck involvieren, zu Beginn sichergestellt werden, dass es sich um eine Technik handelt, mit der auch Entscheidungsträger unter Zeitdruck arbeiten können.

Eine weitere Einschränkung dieser Studie ist die eher geringe Teilnehmerzahl von jeweils 17 Personen pro Gruppe. Besonders bei weiterführenden Analysen, wie beispielsweise derjenigen, ob die räumliche Denkfähigkeit einen Einfluss auf die Entscheidung hat, ist dies von Nachteil, da dann die Gruppen nochmals unterteilt werden müssen und es somit noch weniger Teilnehmer pro Analysegruppe zu untersuchen gilt, sodass keine aussagekräftigen Erkenntnisse mehr gewonnen werden können.

Auch bezüglich der Frage nach der Entscheidungssicherheit gibt es gewisse Limitationen. In dieser Studie mussten die Teilnehmer wie in anderen Studien auf einer 5-teiligen Skala angeben, wie sicher sie sich ihrer Entscheidung sind. Dadurch hatten sie die Möglichkeit, «neutral» anzugeben, was bedeutet, dass sie nicht wirklich entscheiden mussten, ob sie sich sicher sind oder nicht. Um dem entgegenzuwirken, hat Wilkening (2012) nur eine 4-teilige Skala verwendet, bei der die Teilnehmer gezwungen waren, sich klar zu entscheiden. Es scheint offensichtlich, dass die Wahl der Antwortskala die Ergebnisse stark beeinflussen kann, was möglicherweise auch in dieser Studie der Fall war, da die Entscheidungssicherheit bei allen Entscheidungen generell zwischen «neutral» und «sicher» lag. So schlagen Kinkeldey *et al.* (2015a) auch vor, die Entscheidungssicherheit in Zukunft vermehrt statt durch Selbsteinschätzung mithilfe einer Likert-Skala mit anderen Methoden zu messen.

Schliesslich soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass auch die verwendeten Analyseverfahren einigen Einschränkungen unterliegen. Die Rohdaten meiner Studie sind kategoriell, was es schwierig machte, die Entscheidungen der Teilnehmer statistisch auszuwerten. Auch gab es in dieser Studie kein Richtig oder Falsch bei Entscheidungen mit Unsicherheiten, was die Auswertung zusätzlich erschwerte. Mithilfe zweier Techniken wurden die Daten jedoch in numerische Daten transformiert, sodass zwei Analyseverfahren durchgeführt werden konnten. Besonders das Analyseverfahren 1, mit dem hauptsächlich ein genereller Überblick gewonnen werden kann, birgt jedoch einige Nachteile, die in Kapitel

5.3.2. ausführlich erläutert wurden. Mit dem Analyseverfahren 1 wurden bei der UZ-Gruppe beispielsweise keine Unterschiede zwischen Entscheidungen ohne und mit Unsicherheiten festgestellt, obwohl mit dem Analyseverfahren 2 gezeigt werden konnte, dass es auch Unterschiede innerhalb der UZ-Gruppe gibt. Womöglich wurden aufgrund der Nachteile des Analyseverfahrens 1 keine Unterschiede innerhalb der UZ festgestellt. Das Analyseverfahren 1 sollte also nicht ohne ein zusätzliches Analyseverfahren angewendet werden. Die hier verwendeten Transformationen sind ausserdem bei weitem nicht die einzig möglichen Transformationen, mit denen kategorielle Daten in numerische Daten umgewandelt werden können. Um genauere Aussagen darüber machen zu können, wie gut geeignet die hier verwendeten Verfahren waren, müssten weitere Analyseverfahren getestet werden.

7. Schlusswort und Ausblick

7.1. Schlusswort

Ein Grossteil aller Informationen hat einen räumlichen Bezug und ist daher georeferenziert (Franklin 1992, MacEachren und Kraak 2001, Hahmann und Burghardt 2013). Dementsprechend basiert eine Vielzahl an Entscheidungen auf räumlichen Informationen (Hope und Hunter 2007a). Häufig werden für solche Entscheidungen Karten zu Hilfe genommen. Da jedoch Daten generell selten absolut sicher, sondern mit Unsicherheiten behaftet sind, enthalten auch die in Karten visualisierten räumlichen Informationen Unsicherheiten (Skeels *et al.* 2010, MacEachren *et al.* 2012). Kartennutzer und Entscheidungsträger, die für ihre Entscheidungen Karten benützen, sind jedoch meistens im Unwissenden darüber, dass es in Karten Unsicherheiten hat. Ist das Wissen über die in den räumlichen Daten inhärenten Unsicherheiten jedoch nicht vorhanden oder werden diese nicht berücksichtigt, kann es allgemein zu zweifelhaften Schlussfolgerungen (Zhang und Goodchild 2002) oder, spezifischer, zu falschen und irreführenden Schlüssen bezüglich räumlicher Muster und Prozessen kommen (Smith *et al.* 2001, Mason *et al.* 2016). Aus diesem Grund herrscht weitestgehend Einigkeit darüber, dass Unsicherheiten in Karten den Nutzern unmissverständlich klar kommuniziert werden müssen (Hope und Hunter 2007a). Nach teilweise ausgiebiger, teilweise erst anfänglicher Forschung über räumliche Unsicherheiten und räumliche Unsicherheitsvisualisierungen halten Mason *et al.* (2016) fest, dass es noch immer von zwingender Notwendigkeit ist, das Wissen darüber, wie Menschen mit visualisierten Unsicherheiten umgehen und wie sie diese in ihre räumlichen Entscheidungen miteinbeziehen, voranzubringen.

Das Sammeln von Informationen im Vorfeld einer Entscheidung ist ein zeitintensiver Prozess. Die für diesen Prozess zur Verfügung stehende Zeit ist jedoch häufig limitiert, weshalb die Mehrheit aller Entscheidungen unter einem gewissen Zeitdruck gefällt wird (Busemeyer und Townsend 1993). In der Forschung über räumliche Unsicherheitsvisualisierungen wurde jedoch dem Aspekt des Zeitdrucks bis vor kurzem kaum Beachtung geschenkt. Wie Entscheidungsträger unter Zeitdruck mit räumlichen Unsicherheitsvisualisierungen umgehen, ist daher noch nicht wirklich erforscht.

In dieser Arbeit habe ich mich mit den zwei hier aufgezeigten Aspekten befasst. Konkreter habe ich mich gefragt, ob Unsicherheitsvisualisierungen einen Einfluss auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen, die entweder ohne oder unter Zeitdruck getroffen werden, und die dazugehörigen Entscheidungsprozesse haben.

Um diese Fragen zu beantworten, habe ich eine Studie durchgeführt, in der die Teilnehmer je acht komplexe kartenbasierte Entscheidungsaufgaben ohne und mit Unsicherheitsvisualisierungen lösten. Die eine Hälfte der Teilnehmer (insgesamt 17 Personen) hatte so viel Zeit, wie sie für ihre Entscheidung benötigten zur Verfügung, während die andere Hälfte der Teilnehmer (ebenfalls 17 Personen) innerhalb eines gewissen Zeitlimits, das sie unter Zeitdruck setzte, zu einer Entscheidung gelangen musste. Thematisch ging es in den Entscheidungsaufgaben um Unsicherheiten in Hangneigungsberechnungen, die

von Unsicherheiten im DHM stammen. Konkret mussten die Teilnehmer mithilfe einer Hangneigungskarte (und je nach Aufgabe auch den inhärenten Unsicherheiten) und den zusätzlich darin eingezeichneten Elementen (Luftfahrthindernisse und Skilifte) entscheiden, auf welcher von sechs möglichen Landstellen sie mit einem Helikopter landen möchten, um eine Person in Notlage, deren Position ebenfalls in der Karte vermerkt war, zu retten. Dabei galt, es mehrere Kriterien gleichzeitig zu berücksichtigen, weshalb es sich um ein multikriterielles Entscheidungsproblem und folglich um eine komplexe Entscheidung handelte. Die Unsicherheiten wurden in allen acht Karten mit Unsicherheitsrepräsentationen mit derselben Technik visualisiert, bei der es sich um eine punktbasierte Textur handelte. Die Teilnehmer der Studie stellten in Bezug auf ihr Alter, ihr Ausbildungshintergrund sowie ihre Fachkompetenz in relevanten Bereichen eine sehr heterogene Gruppe dar und widerspiegelten so die gesamte Gesellschaft besser als eine homogene Teilnehmergruppe aus beispielsweise nur Studenten.

Da bereits mehrmals gezeigt wurde, dass Unsicherheitsvisualisierungen sowohl einen Einfluss auf einfache wie auch auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen ohne Zeitdruck haben (u.a. von Andre und Cutler 1998, Leitner und Buttenfield 2000, Deitrick und Edsall 2006, Pyysalo und Oksanen 2014, Riveiro *et al.* 2014 oder Kübler 2016), war die Vermutung im Zusammenhang mit der ersten Forschungsfrage zu Beginn der Studie, dass auch hier Unsicherheitsvisualisierungen einen Effekt auf die komplexen kartenbasierten Entscheidungen haben. Zudem wurde angenommen, dass auch ein Effekt auf die komplexen kartenbasierten Entscheidungen unter Zeitdruck festzustellen ist, wobei diese Annahme nicht auf bereits gewonnenen Erkenntnissen beruhte, da es meines Wissens noch keine Studien gibt, die dies untersucht hätten.

Die Annahme konnte ich sowohl in Bezug auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen, die ohne Zeitdruck gefällt wurden, wie auch auf diejenigen, die unter Zeitdruck fielen, bestätigen. Was den Einfluss von Unsicherheitsvisualisierungen auf Entscheidungen ohne Zeitdruck angeht, stimmt die hier gewonnene Erkenntnis also mit den Erkenntnissen aus der bestehenden Literatur überein. Die Erkenntnis, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch einen Einfluss auf Entscheidungen unter Zeitdruck haben, ist eher neu. Um wie bei Entscheidungen ohne Zeitdruck allgemeingültig sagen zu können, dass Unsicherheitsvisualisierungen generell auf Entscheidungen unter Zeitdruck einen Einfluss haben, braucht es noch etliche Studien, die dies untersuchen. Im Zusammenhang mit der Erkenntnis, dass Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungen verändern, konnte ich Folgendes feststellen: Sowohl bei Entscheidungen ohne wie auch unter Zeitdruck spielte die Verlustaversion sehr wahrscheinlich eine Rolle. Sie führte dazu, dass die Teilnehmer die möglichen Gewinne durch Unsicherheiten geringer einschätzten als die möglichen Verluste. In anderen Worten befürchteten die Teilnehmer, dass sich Unsicherheiten eher negativ statt positiv auf die Entscheidung auswirken können. Während dieses Verhalten in einer Effekt-Studie ebenso aufgetreten ist (Hope und Hunter 2007b), konnte in einer anderen Studie ein gegenteiliges Verhalten beobachtet werden, was bedeutet, dass die mögliche Gewinne durch Unsicherheiten höher eingeschätzt wurden als die möglichen Verluste (Kübler 2016). Auch wenn weitestgehend anerkannt

ist, dass Unsicherheitsvisualisierungen generell einen Effekt auf die Entscheidung haben, so unterscheiden sich also diese Effekte teilweise je nach Studie deutlich voneinander. Ein weiterer Punkt, der ebenfalls bereits häufiger bei Entscheidungen ohne Zeitdruck nachgewiesen und auch in dieser Studie so festgestellt wurde, ist, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Effekt auf die Entscheidungssicherheit haben (Leitner und Buttenfield 2000, Deitrick und Edsall 2006, Riveiro *et al.* 2014). Die Ergebnisse hier zeigen, dass dies auch auf Entscheidungen unter Zeitdruck zutrifft.

In der Annahme, dass Unsicherheitsvisualisierungen die komplexen kartenbasierten Entscheidungen verändern, bin ich in Bezug auf die zweite Forschungsfrage zu Beginn der Studie ausserdem davon ausgegangen, dass Unsicherheitsvisualisierungen auch Einflüsse auf die Entscheidungsprozesse, die den Entscheidungen vorangehen, haben. Wie bereits erwähnt, ist das Sammeln von Informationen im Vorfeld einer Entscheidung ein zeitintensiver Prozess (Busemeyer und Townsend 1993). In dieser Studie musste ich feststellen, dass Unsicherheitsvisualisierungen diesen Prozess bei Entscheidungen ohne Zeitdruck signifikant verlängern. Diese Erkenntnis steht im Widerspruch zur Literatur, die in der Regel dokumentiert, dass Unsicherheitsvisualisierungen keinen Einfluss auf die Entscheidungszeit haben (z.B. Leitner und Buttenfield 2000, Riveiro *et al.* 2014 oder Kübler 2016) oder diese sogar verkürzen (Andre und Cutler 1998). Die Unsicherheitsvisualisierungen haben also bei Entscheidungen ohne Zeitdruck wie angenommen den Entscheidungsprozess verändert, jedoch nicht im erhofften Ausmass. Die verlängerte Entscheidungszeit könnte ein Indiz dafür sein, dass Unsicherheitsvisualisierungen als zusätzliche Komplexität empfunden wurden statt als Entscheidungshilfe (Buttenfield 2000, Kübler 2016). Folglich ist es nicht ganz klar, ob die Unsicherheitsvisualisierungen in dieser Studie bei Entscheidungen ohne Zeitdruck wie in anderen Studien (z.B. Aerts *et al.* 2003) als Element mit grossem Nutzen betrachtet wurden. Bei Entscheidungen unter Zeitdruck verlängerten die Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungszeit hingegen nicht, obwohl dies hier im Rahmen des Zeitlimits, wie sich im Nachhinein herausgestellt hat, möglich gewesen wäre.

Die Erkenntnisse aus der *Eye Tracker*-Analyse zeigen, dass sowohl die verlängerte Entscheidungszeit bei Entscheidungen ohne Zeitdruck wie auch die gleichbleibende Entscheidungszeit bei Entscheidungen unter Zeitdruck wohl auf spezifische Verhaltensmuster in den Entscheidungsprozessen zurückzuführen sind. Es konnte die interessante Beobachtung gemacht werden, dass bei Entscheidungen ohne Zeitdruck die Landstellen in unsicheren Regionen signifikant häufiger und länger betrachtet wurden als die Landstellen in sicheren Regionen, obwohl sie nicht signifikant häufiger gewählt wurden. Es wäre spannend zu wissen, ob dies bei Studien, die keine Verlängerung der Entscheidungszeit dokumentieren, nicht der Fall war, oder falls doch, wie die Teilnehmer diese zusätzlich aufgewendete Zeit wieder wettmachen konnten. Vergleichswerte sind zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht vorhanden. Das beobachtete Verhaltensmuster führte wohl zum ebenfalls nachgewiesenen Verhalten, dass die Teilnehmer bei Entscheidungen mit Unsicherheiten im Vergleich zu solchen ohne die Karte insgesamt länger betrachteten sowie die Legende zur Hangneigung und den Unsicherheiten sowohl länger wie auch häufiger

konsultierten. Ob diese Veränderungen im Entscheidungsprozess bei Entscheidungen mit Unsicherheiten in irgendeiner Art und Weise mit einer oder mehreren möglicherweise angewendeten Heuristiken zusammenhängen, die bei Entscheidungen unter Unsicherheiten zum Zuge kommen können (Tversky und Kahneman 1974) und die bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen nachgewiesen werden konnten (z.B. von Kübler 2016 und Ruginski *et al.* 2016), kann leider nicht beurteilt werden. Bei Entscheidungen unter Zeitdruck nehmen die beobachteten Verhaltensmuster andere Formen an. So wurden Landstellen in unsicheren Regionen gleich häufig betrachtet wie Landstellen in sicheren Regionen. Ausserdem wurden die Karte und einige andere Elemente bei Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen insgesamt weniger häufig betrachtet, jedoch insgesamt gleich lange wie bei Entscheidungen ohne Unsicherheitsvisualisierungen. Die Unsicherheitsvisualisierungen führten also dazu, dass die Entscheidungsträger unter Zeitdruck weniger zwischen den Elementen hin und her wechselten.

Diese interessanten Beobachtungen zeigen, dass die *Eye Tracking*-Methode sehr spannende Erkenntnisse liefert, diese jedoch momentan etwas isoliert im Raum stehen oder noch viel mehr Fragen aufwerfen, da die Methode in diesem Forschungsbereich noch kaum eingesetzt wurde, sodass es noch keine wirklichen Vergleichswerte gibt, die Antworten auf die aufgeworfenen Fragen geben könnten.

In der dritten und letzten Forschungsfrage bin ich auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Entscheidungen, die entweder ohne oder unter Zeitdruck getroffen wurden, eingegangen, wobei ich davon ausgegangen bin, dass Zeitdruck einen Einfluss auf die Entscheidungen und Entscheidungsprozesse hat. Diesbezüglich konnte nachgewiesen werden, dass, wie das Modell für Entscheidungen unter Zeitdruck von Hwang (1994) besagt, die Aufgabenschwierigkeit durch den Zeitdruck erhöht wurde. Keinen Einfluss hatte der Zeitdruck in dieser Studie auf die Korrektheit der Entscheidungen ohne Unsicherheiten, auf die Häufigkeit, mit der Landstellen in sicheren und unsicheren Regionen bei Entscheidungen mit Unsicherheiten gewählt wurden, sowie auf die Entscheidungssicherheit. Hwangs (1994) Modell liefert eine Erklärung für die gleichbleibende Korrektheit der Entscheidungen und Zakay (1985) bietet eine plausible Erklärung für die Beobachtung, dass Zeitdruck keinen Einfluss auf die Entscheidungssicherheit hat. Die Erkenntnis, dass Zeitdruck keinen Einfluss hat auf die Häufigkeit, mit der Landstellen in sicheren und unsicheren Regionen gewählt wurden, ist jedoch neu und deutet meiner Meinung nach darauf hin, dass bei Entscheidungen, die unter Zeitdruck gefällt wurden, den Unsicherheiten dieselbe Bedeutung beigemessen wurde wie bei Entscheidungen, die ohne Zeitdruck getroffen wurden. Die aufgezeigten Differenzen in den Entscheidungsprozessen deuten jedoch darauf hin, dass sich die Art und Weise, wie die Unsicherheiten erfasst wurden, bei Entscheidungen ohne Zeitdruck von Entscheidungen unter Zeitdruck unterscheidet.

Um die wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie zusammenzufassen: Den Resultaten dieser Studie zufolge haben Unsicherheitsvisualisierungen in Karten einen Effekt auf komplexe kartenbasierte Entscheidungen. Dieser Effekt konnte sowohl für Entscheidungen ohne wie auch unter Zeitdruck festgestellt werden. Bei Entscheidungen mit Unsicherheiten liessen sich die Teilnehmer vermutlich aufgrund

der Verlustaversion von der Annahme leiten, dass die möglichen Verluste durch die Unsicherheiten (Entscheidung ist «falsch») grösser sind als die möglichen Gewinne (Entscheidung ist «korrekt»), und fällten ihre Entscheidungen dementsprechend. Die Teilnehmer bevorzugten jedoch nicht Optionen in sicheren Regionen gegenüber solchen in unsicheren Regionen. Des Weiteren konnten auch Effekte von Unsicherheitsvisualisierungen auf die Entscheidungsprozesse festgestellt werden. Bei Entscheidungen ohne Zeitdruck verlängerte sich im Gegensatz zu Entscheidungen unter Zeitdruck die Entscheidungszeit. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass Optionen mit Unsicherheiten häufiger und länger betrachtet wurden, was dazu führte, dass die Karten insgesamt länger betrachtet wurden. Auch wurde der Legende desjenigen Kartenelementes, dessen inhärenten Unsicherheiten visualisiert wurden, deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt, was die Wichtigkeit einer Legende, die Informationen über die Unsicherheitsvisualisierungen beinhaltet, hervorhebt. Bei Entscheidungen mit Zeitdruck wurde den Elementen mit Unsicherheiten nicht mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Die Unsicherheitsvisualisierungen führten jedoch dazu, dass die Entscheidungsträger weniger zwischen den Elementen hin und her gewechselt haben und stattdessen diese pro Betrachtung etwas ausführlicher anschauten. Der hier aufgezeigte Unterschied in den Entscheidungsprozessen ist auch derjenige Punkt, in dem sich Entscheidungen ohne und mit Zeitdruck, abgesehen von der Aufgabenschwierigkeit, am deutlichsten unterscheiden.

Abschliessend halte ich fest, dass die hier gewonnenen Erkenntnisse teilweise mit verbreiteten Erkenntnissen der Literatur übereinstimmen, teilweise diesen jedoch auch widersprechen. Dies zeigt auf, wie stark bei komplexen kartenbasierten Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen der Kontext, also die behandelte Thematik, die Art der Unsicherheiten, die verwendete Unsicherheitsvisualisierungstechnik, die Eigenschaften der Entscheidungsträger sowie die (zeitlichen) Rahmenbedingungen eine Rolle spielen.

7.2. Ausblick

Wie bereits teilweise in der Diskussion aufgezeigt, gibt es noch einige Forschungslücken im Bereich Entscheidungen mit räumlichen Unsicherheitsvisualisierungen unter verschiedenen (zeitlichen) Bedingungen.

Eine Forschungslücke betrifft die Eigenschaften der Entscheidungsträger, die den Umgang mit Unsicherheitsvisualisierungen beeinflussen können. Häufig wurden die Eigenschaften der Teilnehmer, wie beispielsweise die Fachkompetenz, nur unzureichend oder überhaupt nicht dokumentiert (Kinkeldey *et al.* 2015a). Und noch seltener wurde spezifisch darauf eingegangen, welchen Einfluss welche Charakteristiken konkret haben. Da die wenigen Studien, die konkret darauf eingegangen sind (z.B. Evans 1997, Aerts *et al.* 2003, Hope und Hunter 2007b oder Kübler 2016) zu sehr unterschiedlichen Erkenntnissen gekommen sind, gibt es in der Literatur noch keinen Konsens darüber, ob und inwiefern die Fachkompetenz oder andere Eigenschaften (wie das Alter, das Geschlecht, die räumliche Denkfähigkeit oder die Risikoeinstellung) einen Einfluss auf Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen haben. In meiner Arbeit konnte ich feststellen, dass die räumliche Denkfähigkeit keine Rolle spielt, es allerdings denkbar ist, dass stattdessen die Risikoeinstellung einen Einfluss hat. Jedoch wurde auch in dieser

Studie nicht systematisch auf die Eigenschaften der Teilnehmer eingegangen, weil das Thema vielmehr am Rande behandelt wurde. In Zukunft braucht es Studien, die die Eigenschaften der Teilnehmer nicht nur dokumentieren, sondern sie ins Zentrum der Forschung stellen und systematisch untersuchen.

Ein weiterer Punkt, der meiner Meinung nach genauer untersucht werden sollte, ist, wie Entscheidungsträger mit Visualisierungen multipler Unsicherheiten umgehen, denn bis anhin wurde in den Effekt-Studien weitestgehend nur eine Art von Unsicherheit visualisiert. Dabei ist es klar, dass selten nur eine Art von Unsicherheit vorhanden ist. Auch in den Karten dieser Studie gab es nicht nur Unsicherheiten in den Hangneigungsdaten. Vielmehr waren auch die Hindernisse mit einer gewissen Unsicherheit behaftet (die von den Herstellern auch dokumentiert sind) und es wäre in diesem Szenario auch gut denkbar, dass ebenso die Position der Person in Notlage Unsicherheiten unterliegt. Darüber, ob Entscheidungsträger mit mehreren visualisierten Unsicherheiten umgehen können, oder ob diese zu einer kognitiven Überlastung führen würden, ist jedoch noch wenig bekannt.

Des Weiteren halte ich fest, dass mehr Studien genauer auf die Rahmenbedingungen eingehen sollten, unter denen die Entscheidungen mit Unsicherheitsvisualisierungen getroffen werden. In der Realität werden Entscheidungen kaum wie unter Laborbedingungen ohne jeglichen Zeitlimit, und weder ohne Stress noch Ablenkung getroffen. Daher scheint es mir von grosser Wichtigkeit, dass in Zukunft vermehrt – wie in dieser Studie – darüber geforscht wird, wie Entscheidungsträger unter Zeitdruck mit Unsicherheitsvisualisierungen umgehen.

Dies bringt mich direkt zu einem weiteren und letzten Aspekt, dem von der Wissenschaft mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Es konnte von der Forschung nachgewiesen werden, dass sowohl Zeitdruck wie auch Unsicherheitsvisualisierungen die Entscheidungsprozesse verändern. Da jedoch Entscheidungsfindungsprozesse an und für sich – und unter Berücksichtigung der eben erwähnten Elemente erst recht – sehr komplex und schwierig zu erforschen sind, ist das Wissen darüber teilweise noch eher rudimentär. Soll jedoch das ultimative Ziel von Unsicherheitsvisualisierungen erreicht werden, das nach Pang *et al.* (1997) ist, «den Kartennutzern Visualisierung zur Verfügung zu stellen, die [...] Informationen über Unsicherheiten enthalten, um sie in ihrer Datenanalyse und Entscheidung zu unterstützen» (Pang *et al.* 1997: 371), ist es erforderlich, diese Prozesse besser zu verstehen. Auf dem Weg zu einem besseren Verständnis erachte ich die *Eye Tracking*-Methode als sehr erfolgsversprechend. Auch in dieser Studie konnte gezeigt werden, dass mittels der Analyse der durch *Eye Tracking* ermittelten Daten neue Erkenntnisse über die Entscheidungsfindung mit Unsicherheitsvisualisierungen (unter verschiedenen zeitlichen Bedingungen) gewonnen werden können, wobei zu bedenken ist, dass in dieser Studie das Potenzial dieser Methode bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. So gibt es noch unzählige Messgrößen mehr, wie beispielsweise die Reihenfolge, mit der einzelne Objekte in der Karte betrachtet werden, die spannende Einblicke in die Entscheidungsprozesse ermöglichen, weshalb ich hoffe, dass die Methode in Zukunft vermehrt Anwendung findet.

8. Literatur

- Aerts, J. C. J. H., Clarke, K. C., & Keuper, A. D. (2003). Testing popular visualization techniques for representing model uncertainty. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 30(3), 249–261
- Ahituv, N., Igbaria, M., & Sella, A. V. (1998). The effects of time pressure and completeness of information on decision making. In: *Journal of Management Information Systems*, 15(2), 153–172
- 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), 31–35
- ArcGIS Tool Reference. How slope works. Website:
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm> (letzter Zugriff: 10.09.2017)
- AuLaV (Aussenlandeverordnung) (2014). Verordnung über das Abfliegen und Landen mit Luftfahrzeugen ausserhalb von Flugplätzen vom 14. Mai 2014, Verordnung 748.132.3
- BAZL (Bundesamt für Zivilluftfahrt). Luftfahrthindernisse. Website:
<https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/fachleute/flugplaetze/luftfahrthindernisse.html> (letzter Zugriff: 10.09.2017)
- Beard, M. K., Battenfield, B. P., & Clapham, S. B. (1991). NCGIA research initiative 7: Visualization of spatial data quality. In: *NCGIA Technical Paper 91-26*
- Beard, M. K., & Mackaness, W. (1993). Visual access to data quality in geographic information systems. In: *Cartographica*, 30(2/3), 37–45
- 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), 2769–2778
- Brewer, C. A. (2016). *Designing better maps. A guide for GIS Users* (2nd ed.). Esri Press, Redlands, California
- Brus, J., Popelka, S., Brychtova, A., & 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*, 215–220
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems* (3rd ed.). Oxford University Press, Oxford
- Bussemeyer, J. R., & Townsend, J. T. (1993). Decision field theory: A dynamic-cognitive approach to decision making in an uncertain environment. In: *Psychological Review*, 100(3), 432–459
- Battenfield, B. P. (1993). Representing Data Quality. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 30(2–3), 1–7

- Buttenfield, B. P., & Beard, M. K. (1991). Visualizing the quality of spatial information. In: *Technical Papers 1991 ACSM-ASPRS Annual Convention*, V6, Auto-Carto 10, 423–427
- 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), 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), 931–949
- Cornélis, B., & Brunet, S. (2002). A policy-maker point of view on uncertainties in spatial decisions. In: Shi, W., Fisher, P. F., & Goodchild, M. F. (eds.): *Spatial data quality*, Taylor & Francis, London, 168–185
- Davis, T. J., & Keller, C. P. (1997). Modelling and visualizing multiple spatial uncertainties. In: *Computers and Geosciences*, 23(4), 397–408
- Deitrick, S. (2012). Evaluating implicit visualization of uncertainty for public policy decision support. In: *Proceedings AutoCarto 2012*
- Deitrick, S., & Edsall, R. (2006). The influence of uncertainty visualization on decision making: An empirical evaluation. In: Riedl, A., Kainz, W., & Elmes, G. (eds.): *Progress in Spatial Data Handling: 12th International Symposium on Spatial Data Handling*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 719–738
- Deitrick, S., & Wentz, E. A. (2015). Developing implicit uncertainty visualization methods motivated by theories in decision science. In: *Annals of the Association of American Geographers*, 105(3), 531–551
- Drecki, I. (2002). Visualisation of uncertainty in geographical data. In: Shi, W., Fisher, P. F., & Goodchild, M. F. (eds.): *Spatial data quality*, Taylor & Francis, London, 140–159
- Ehlschlaeger, C. R., Shortridge, A. M., & Goodchild, M. F. (1997). Visualizing spatial data uncertainty using animation. In: *Computers & Geosciences*, 23(4), 387–395
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*, Educational testing service, Princeton, New Jersey
- Evans, B. J. (1997). Dynamic display of spatial data-reliability: Does it benefit the map user? In: *Computers & Geosciences*, 23(4), 409–422
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). SAGE Publications, London
- Figner, B., & Murphy, R. O. (2011). Using skin conductance in judgment and decision making research. In: Schulte-Mechlenbeck, M., Kühberger, A., & Ranyard, R. (eds.): *A handbook of process tracing methods for decision research: A critical review and user's guide*, Psychology Press, New York, 163–184
- Fisher, C. W., Chengalur-Smith, I., & Ballou, D. P. (2003). The impact of experience and time on the use of data quality information in decision making. In: *Information Systems Research*, 14(2), 170–188

- Fisher, P. F. (1993). Visualizing uncertainty in soil maps by animation. In: *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 30(2–3), 20–27
- Fisher, P. F., & Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. In: *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467–489
- Fonteyn, M. E., Kuipers, B., & Grobe, S. J. (1993). A description of think aloud method and protocol analysis. In: *Qualitative Health Research*, 3(4), 430–441
- Franklin, C. (1992). An introduction to geographic information systems: Linking maps to databases. In: *Database: the magazine of database reference and review*, 15(2), 10–22
- 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
- Gerharz, L. E., & Pebesma, E. J. (2009). Usability of interactive and non-interactive visualisation of uncertain geospatial information. In: *Proc. Geoinformatik*, 223–230
- Gershon, N. (1998). Visualization of an imperfect world. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(4), 43–45
- Goldberg, J. H., & Helfman, J. I. (2010). Comparing information graphics: A critical look at eye tracking. In: *Proceedings of the 3rd BELIV'10 Workshop*, 71–78
- Goldberg, J. H., & Helfman, J. I. (2011). Eye tracking for visualization evaluation: Reading values on linear versus radial graphs. In: *Information Visualization*, 10(3), 182–195
- Goodchild, M. F. (2006). Foreword. In: Devillers, R., & Jeansoulin, R. (eds.): *Fundamentals of spatial data quality*, ISTE Ltd, London
- Gordon, M. E., Slade, L. A., & Schmitt, N. (1986). The “science of the sophomore” revisited: From conjecture to empiricism. In: *The Academy of Management Review*, 11(1), 191–207
- Griethe, H., & Schumann, H. (2006). The visualization of uncertain data: Methods and problems. In: *SimVis*, 143–156
- Hahmann, S., & Burghardt, D. (2013). How much information is geospatially referenced? Networks and cognition. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 27(6), 1171–1189
- Hegarty, M., & Waller, D. A. (2005). Individual differences in spatial abilities. In: Shah, P., & Miyake, A. (eds.): *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, Cambridge University Press, New York, 121–169
- Helton, W. S. (2004). Validation of a short stress state questionnaire. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48(11), 1238–1242
- Helton, W. S., & Näswall, K. (2015). Short stress state questionnaire. Factor structure and state change assessment. In: *European Journal of Psychological Assessment*, 31(1), 20–30
- Helton, W. S., & Warm, J. S. (2008). Signal salience and the mindlessness theory of vigilance. In: *Acta Psychologica*, 129(1), 18–25

- Henderson, J. M., Brockmole, J. R., Castelhamo, M., & Mack, M. (2007). Visual saliency does not account for eye movements during visual search in real-world scenes. In: Van Gompel, R. P. G., Fischer, M. H., Murray, W. S., & Hill, R. L. (eds): *Eye movements. A window on mind and brain*, Elsevier, Oxford, 537–562
- 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), 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), 199–214
- Horn, B. K. P. (1981). Hill shading and the reflectance map. In: *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14–47
- 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), 55–62
- Hunter, G. J., & Goodchild, M. F. (1996). Communicating uncertainty in spatial databases. In: *Transactions in Geographic Information Systems*, 1(1), 13–24
- Hunter, G. J., & Goodchild, M. F. (1997). Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases. In: *Geographical Analysis*, 29(1), 35–49
- Hwang, M. I. (1994). Decision making under time pressure: A model for information systems research. In: *Information & Management*, 27(4), 197–203
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from elevation data for geographic information system analysis. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593–1600
- Joslyn, S., & LeClerc, J. (2013). Decisions with uncertainty: The glass half full. In: *Current Directions in Psychological Science*, 22(4), 308–315
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. In: *Econometrica*, 47(2), 263–292
- Kardos, J., Benwell, G. L., & Moore, A. B. (2007). Assessing different approaches to visualise spatial and attribute uncertainty in socioeconomic data using the hexagonal or rhombus (HoR) trusttree. In: *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(1), 91–106
- Kardos, J., Moore, A., & Benwell, G. (2008). Exploring tessellation metaphors in the display of geographical uncertainty. In: Moore, A., & Drecki, I. (eds.): *Geospatial Vision*, Springer, Berlin Heidelberg, 113–140
- Keuper, A. D. (2004). The influence of uncertainty metadata on decision-making using geographic data products. Doktorarbeit. University of California, Santa Barbara
- Kindeldey, C., & Schiewe, J. (2012). Visualisierung thematischer Unsicherheiten mit «Noise Annotation Lines». In: *Kartographische Nachrichten*, 62(5), 241–249

- Kinkeldey, C., Mason, J., Klippel, A., & Schiewe, J. (2013). Assessing the impact of design decisions on the usability of uncertainty visualization: Noise annotation lines for the visual representation of attribute uncertainty. In: *Proceedings of 26th International Cartographic Conference*, 25–30
- 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), 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), 430–439
- Kinkeldey, C., MacEachren, A. M., Riveiro, M., & Schiewe, J. (2015a). Evaluating the effect of visually represented geodata uncertainty on decision-making: Systematic review, lessons learned, and recommendations. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 44(1), 1–21
- Kinkeldey, C., Schiewe, J., Gerstmann, H., Götze, C., Kit, O., Lüdeke, M., Taubenböck, H., & Wurm, M. (2015b). Evaluating the use of uncertainty visualization for exploratory analysis of land cover change: A qualitative expert user study. In: *Computers and Geosciences*, 84, 46–53
- Klein, G. (1998). *Sources of Power. How people make decisions*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London
- Kubiček, P., & Šašinka, Č. (2011). Thematic uncertainty visualization usability - comparison of basic methods. In: *Annals of GIS*, 17(4), 253–263
- Kübler, I. (2016). Einfluss der Visualisierung der Unsicherheit auf die Leistung und den Prozess der Entscheidungsfindung mithilfe von Gefahrenkarten. Masterarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich
- 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), 1735–1751
- Leitner, M., & Buttenfield, B. P. (2000). Guidelines for the display of attribute certainty. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 27(1), 3–14
- Lodha, S. K., Wilson, C. M., & Sheehan, R. E. (1996). LISTEN: Sounding uncertainty visualization. In: *Proceedings of the 7th conference on Visualization '96, IEEE*, 189–196
- MacEachren, A. M. (1992). Visualizing uncertain information. In: *Cartographic Perspective*, 13, 10–19
- MacEachren, A. M. (1995). *How maps work. Representation, visualization, and design*. The Guilford Press, New York
- 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), 1547–1561
- MacEachren, A. M., & Kraak, M.-J. (2001). Research Challenges in Geovisualization. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 3–12

- 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), 139–160
- MacEachren, A. M., Roth, R. E., O'Brien, J., Li, B., Swingley, D., & Gahegan, M. (2012). Visual semiotics and uncertainty visualisation: An empirical study. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12), 2496–2505
- Martin, D. W. (2004). *Doing psychology experiments* (6th ed.), Thomson/Wadsworth, Belmont, California
- Mason, J. S., Kippel, A., Bleisch, S., Slingsby, A., & Deitrick S. (2016). Special issue introduction: Approaching spatial uncertainty visualization to support reasoning and decision making. In: *Spatial Cognition & Computation*, 16(2), 97–105
- Mason, J. S., Retchless, D., & Klippel, A. (2017). Domains of uncertainty visualization research: A visual summary approach. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 44(4), 296–309
- Matthews, G., Szalma, J., Panganiban, A. R., Neubauer, C., & Warm, J. S. (2013). Profiling task stress with the dundee stress state questionnaire. In: Cavalcanti, L., & Azevedo, S. (eds.): *Psychology of Stress*, Nova Science Publishers, Inc., 1–27
- Maule, A. J., & Edland, A. C. (1997). The effects of time pressure on human judgment and decision making. In: Ranyard, R., Crozier, W. R., & Svenson, O. (eds.): *Decision making. Cognitive models and explanations*, Routledge, London, 189–204
- Maule, A. J., Hockey, G. R. J., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: changes in affective state and information processing strategy. In: *Acta Psychologica*, 104(3), 283–301
- McGranahan, M. (1993). A cartographic view of spatial data quality. In: *Cartographica*, 30(2–3), 8–19
- McKenzie, G., Hegarty, M., Barrett, T., & Goodchild, M. F. (2016). Assessing the effectiveness of different visualizations for judgments of positional uncertainty. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 30(2), 221–239
- Ordóñez, L., & Benson III, L. (1997). Decisions under time pressure: How time constraint affects risky decision making. In: *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 71(2), 121–140
- Orquin, J. L., & Mueller Loose, S. (2013). Attention and choice: A review on eye movements in decision making. In: *Acta Psychologica*, 144(1), 190–206
- Ossowski, U., Malinen, S., & Helton, W. S. (2011). The effects of emotional stimuli on target detection: Indirect and direct resource costs. In: *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1649–1658
- Pang, A. T. (2001). Visualizing uncertainty in geo-spatial data. In: *Proceedings of the Workshop on the Intersections between Geospatial Information and Information Technology*, 1–14
- Pang, A. T., Wittenbrink, C. M., & Lodha, S. K. (1997). Approaches to uncertainty visualization. In: *The Visual Computer*, 13(8), 370–390

- Payne, J. W., Bettman, J., & Johnson, E. J. (1993). *The adaptive decision maker*, Cambridge University Press, New York
- Peters, L. H., O'Connor, E. J., Pooyan, A., & Quick, J. C. (1984). The relationship between time pressure and performance: A field test of parkinson's law. In: *Journal of Occupational Behaviour*, 5(4), 293–299
- Popelka, S., Brychtova, A., Brus, J., & Voženilek, V. (2012): Advanced map optimization based on eye-tracking. In: Bateira, C. (ed.): *Cartography – a tool for spatial analysis*, InTech, 99–118
- 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*, 3–6 June 2014
- Reinke, K., & Hunter, G. J. (2002). A theory for communicating uncertainty in spatial databases. In: Shi, W., Fisher, P. F., & Goodchild, M. F. (eds.): *Spatial data quality*, Taylor & Francis, London, 76–101
- Retchless, D. P., & Brewer, C. A. (2016). Guidance for representing uncertainty on global temperature change maps. In: *International Journal of Climatology*, 36(3), 1143–1159
- Riecken, J. (2001). The improvement of the access to public geospatial data of cadastral and surveying and mapping as a part of the development of a NSDI in Northrhine-Westphalia, Germany. In: *Proceedings of the 4th AGILE Conference on Geographic Information Science*, Brno, Czech Republic
- Riveiro, M., Helldin, T., Falkman, G., & Lebram, M. (2014). Effects of visualizing uncertainty on decision-making in a target identification scenario. In: *Computers and Graphics*, 41(1), 84–98
- Roth, R. E. (2009). A qualitative approach to understanding the role of geographic information uncertainty during decision making. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 36(4), 315–330
- Roullier, F. (2013). Mobile maps usage under time pressure. Masterarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich
- 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), 154–172
- Scholz, R. W., & Lu, Y. (2014). Uncertainty in geographic data on bivariate maps: An examination of visualization preference and decision making. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(4), 1180–1197
- Shi, W. (2010). *Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses*, CRC Press, Boca Raton
- Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. In: *Psychological Review*, 63(2), 129–138
- Skeels, M., Lee, B., Smith, G., & Robertson, G. G. (2010). Revealing uncertainty for information visualization. In: *Information Visualization*, 9(1), 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), 299–317
- Smith, J. F., Mitchell, T. R., & Beach, L. R. (1982). A cost-benefit mechanism for selecting problem-solving strategies: Some extensions and empirical tests. In: *Organizational Behavior and Human Performance*, 29(3), 370–396
- 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*, 1–10
- Staehelin, K. (2016). Unglück am Gotthard. Experte zum Helikopterabsturz: «Das gehört zur Grundausbildung» - Armee informiert um 10 Uhr. In: *Aargauer Zeitung*, 29.9.2016, Bezug: <https://www.aargauerzeitung.ch/schweiz/experte-zum-helikopter-absturz-das-gehoert-zur-grundausbildung-armee-informiert-um-10-uhr-130607436> (letzter Zugriff: 10.09.2017)
- Streit, A. (2013). Lawinenbeurteilung mittels Karten - Empirische Evaluation von Visualisierungsmethoden. Masterarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich
- Svenson, O., & Edland, A. (1987). Change of preference under time pressure: choices and judgments. In: *Scandinavian Journal of Psychology*, 28(4), 322–330
- swisstopo (Bundesamt für Landestopographie) (2005). DHM25. Das digitale Höhenmodell der Schweiz. Produkteinformation, swisstopo, Wabern
- swisstopo (Bundesamt für Landestopographie) (2007). VECTOR25. Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz. Produkteinformation, swisstopo, Wabern
- Thomson, J., Hetzler, B., MacEachren, A. M., Gahegan, M., & Pavel, M. (2005). A typology for visualizing uncertainty. In: *Proceedings of the IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Conference on Visualization and Data Analysis*, San Jose, 146–157
- Tobii Technology (2014): *User Manual – Tobii Studio* (version 3.3.0)
- Toker, D., Lallé, S., & Conati, C. (2017). Pupilometry and head distance to the screen to predict skill acquisition during information visualization tasks. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces*, 221–231
- Trautwein, F., Fisler, J., Hugentobler, M., Lüscher, P., Weibel, R., & Hägi, S. (2011). Geländeanalyse. Unterlagen zur GITTA-Lektion «Spatial Modeling»
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. In: *Science*, 185(4157), 1124–1131
- US Army (2002). *Pathfinder operations*. Field manual 3-21.38 (FM 57-38), Headquarters Department of the Army, Washington DC.
- US Army (2005). *Combat medic field reference*, Jones & Bartlett Learning, Sudbury, Massachusetts
- Viard, T., Caumon, G., & Lévy, B. (2011). Adjacent versus coincident representations of geospatial uncertainty: Which promote better decisions? In: *Computers and Geosciences*, 37(4), 511–520

- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1953). *Theory of games and economic behavior* (3rd ed.), Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Wechsler, S. P. (2003). Perceptions of digital elevation model uncertainty by DEM users. In: *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 15(2), 57–64
- Wechsler, S. P., & Kroll, C. N. (2006). Quantifying DEM uncertainty and its effect on topographic parameters. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(9), 1081–1090
- Wilkening, J., & Fabrikant, S. I. (2011). How do decision time and realism affect map-based decision making? In: *COSIT: 10th International Conference on Spatial Information Theory*, 1–19
- Wilkening, J. (2012). The effect of time pressure on map-based decision making. Doktorarbeit. Geographisches Institut der Universität Zürich, Zürich
- Zakay, D. (1985). Post-decisional confidence and conflict experienced in a choice progress. In: *Acta Psychologica*, 58(1), 75–80
- Zhang, J., & Goodchild, M. (2002). *Uncertainty in geographical information*, Taylor & Francis, London

9. Anhang

A. Variantentabellen für die Ansiedelung der Landstellen in den Karten

Variante 1, Beispielkarte: LAAX

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original
1	Stelle 1	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Mittel	Nein	Sehr Falsch	F
6	Stelle 2	Sehr schlecht	2 x gut	Mittel	Nein	Falsch	D
5	Stelle 3	Ideal	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Nein	Falsch	C
7	Stelle 4	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	E
2	Stelle 5	O.k.	2 x Zu nahe	Gross	Ja	Sehr Falsch	B
8	Stelle 6	O.k.	2 x gut	Gross	Ja	Korrekt	A

Variante 1, Region 1: AROSA

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original	Dup- likat
1	Stelle 1	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Mittel	Ja	Sehr Falsch	A	C
6	Stelle 2	Sehr schlecht	2 x gut	Gross	Nein	Falsch	F	A
5	Stelle 3	Ideal	1 x gut / 1 x zu nahe	Gering	Nein	Falsch	C	D
7	Stelle 4	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	E	B
2	Stelle 5	O.k.	2 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr Falsch	D	E
8	Stelle 6	O.k.	2 x gut	Mittel	Ja	Korrekt	B	F

Variante 1, Region 2: SERNEUS

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original	Dup- likat
1	Stelle 1	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr Falsch	F	B
6	Stelle 2	Sehr schlecht	2 x gut	Gross	Nein	Falsch	E	F
5	Stelle 3	Ideal	1 x gut / 1 x zu nahe	Mittel	Nein	Falsch	B	A
7	Stelle 4	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	D	D
2	Stelle 5	O.k.	2 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr Falsch	A	C
8	Stelle 6	O.k.	2 x gut	Mittel	Ja	Korrekt	C	E

Variante 2, Region 1: CHURWALDEN

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original	Duplikat
3	Stelle 1	Ideal	2 x zu nahe	Gross	Nein	Sehr Falsch	A	A
7	Stelle 2	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	C	F
7	Stelle 3	Ideal	2 x gut	Mittel	Nein	Korrekt	D	C
8	Stelle 4	O.k.	2 x gut	Gering	Ja	Korrekt	B	B
6	Stelle 5	Schlecht	2 x gut	Mittel	Ja	Falsch	F	E
1	Stelle 6	Sehr Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Nein	Sehr falsch	E	D

Variante 2, Region 2: KLOSTERS

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original	Duplikat
3	Stelle 1	Ideal	2 x zu nahe	Gross	Nein	Sehr Falsch	C	A
7	Stelle 2	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	E	C
7	Stelle 3	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	F	E
8	Stelle 4	O.k.	2 x gut	Gering	Ja	Korrekt	D	F
6	Stelle 5	Schlecht	2 x gut	Gering	Ja	Falsch	B	B
1	Stelle 6	Sehr Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Nein	Sehr falsch	A	D

Variante 3, Region 1: TSCHIERTSCHEN

Kat.		Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Original	Duplikat
6	Stelle 1	Sehr schlecht	2 x gut	Gering	Nein	Falsch	D	B
1	Stelle 2	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Mittel	Ja	Sehr falsch	C	A
1	Stelle 3	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr falsch	B	D
8	Stelle 4	O.k.	2 x gut	Gering	Ja	Korrekt	F	E
4	Stelle 5	O.k.	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Nein	Falsch	A	F
7	Stelle 6	Ideal	2 x gut	Mittel	Nein	Korrekt	E	C

Variante 3, Region 2: BERGÜN

Kat.	Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Ori- ginal	Dup- likat
6	Stelle 1	Sehr schlecht	2 x gut	Gering	Nein	Falsch	D E
1	Stelle 2	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Ja	Sehr falsch	E B
1	Stelle 3	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Nein	Sehr falsch	A C
8	Stelle 4	O.k.	2 x gut	Mittel	Ja	Korrekt	C D
4	Stelle 5	O.k.	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Ja	Falsch	F F
7	Stelle 6	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	B A

Variante 4, Region 1: BIVIO

Kat.	Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Ori- ginal	Dup- likat
8	Stelle 1	O.k.	2 x gut	Mittel	Ja	Korrekt	A F
8	Stelle 2	O.k.	2 x gut	Gross	Ja	Korrekt	C D
4	Stelle 3	O.k.	1 x gut / 1 x zu nahe	Gross	Ja	Falsch	B C
7	Stelle 4	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	E E
3	Stelle 5	Ideal	2 x zu nahe	Gering	Nein	Sehr falsch	D A
1	Stelle 6	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr falsch	F B

Variante 4, Region 2: SAN BERNADINO

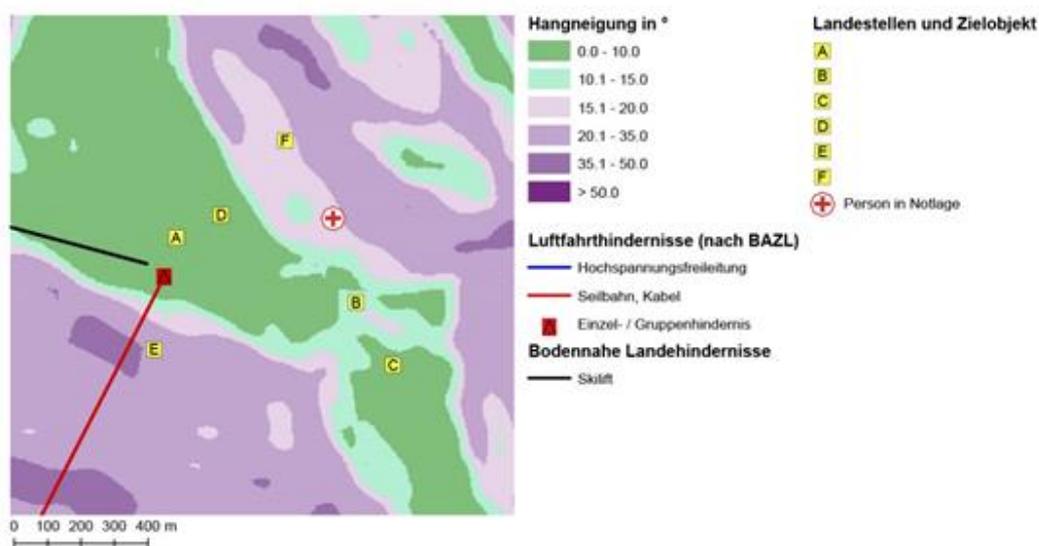
Kat.	Hangneigung	Distanzen Luftfahrt- hindernis und Skilift	Distanz Zielobjekt	Unsicheres Gebiet	Lösung ohne Unsicherheit	Ori- ginal	Dup- likat
8	Stelle 1	O.k.	2 x gut	Mittel	Ja	Korrekt	B C
8	Stelle 2	O.k.	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	C D
4	Stelle 3	O.k.	1 x gut / 1 x zu nahe	Mittel	Ja	Falsch	A F
7	Stelle 4	Ideal	2 x gut	Gross	Nein	Korrekt	D B
3	Stelle 5	Ideal	2 x zu nahe	Mittel	Nein	Sehr falsch	F E
1	Stelle 6	Schlecht	1 x gut / 1 x zu nahe	Gering	Ja	Sehr falsch	E A

B. Fragebogen der Online-Vorstudie

Im Folgenden sind einige Teile des Fragebogens der Online-Vorstudie aufgeführt. Der erste Teil der Vorstudie ist identisch mit dem ersten Teil der Hauptstudie. Der Fragebogen des ersten Teils der Hauptstudie ist im Anhang E aufgeführt und wird daher hier nicht nochmals abgedruckt. Auch die Szenario-Beschreibung und die Beschreibung über das Konzept von Unsicherheiten sind bei der Online-Vorstudie und der Hauptstudie identisch und werden daher nicht an dieser Stelle, sondern in den Anhängen G und H abgedruckt. Im Folgenden sind also lediglich die Entscheidungsaufgaben und die Nachbefragung der Vorstudie aufgeführt, da sich diese von den entsprechenden Teilen in der Hauptstudie unterscheiden.

2. Teil: Kartenbasierte Entscheidungsaufgaben

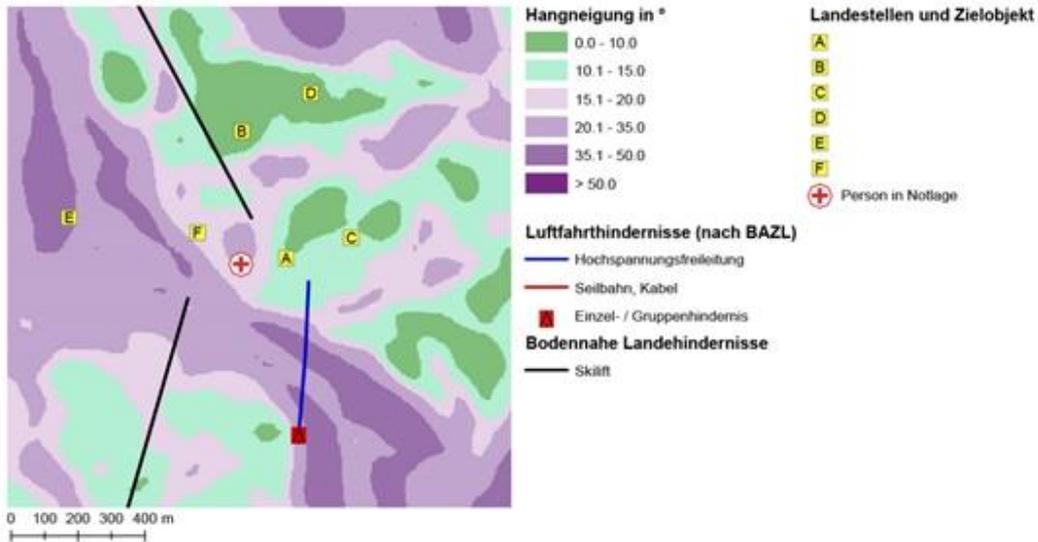
Entscheidungsaufgabe



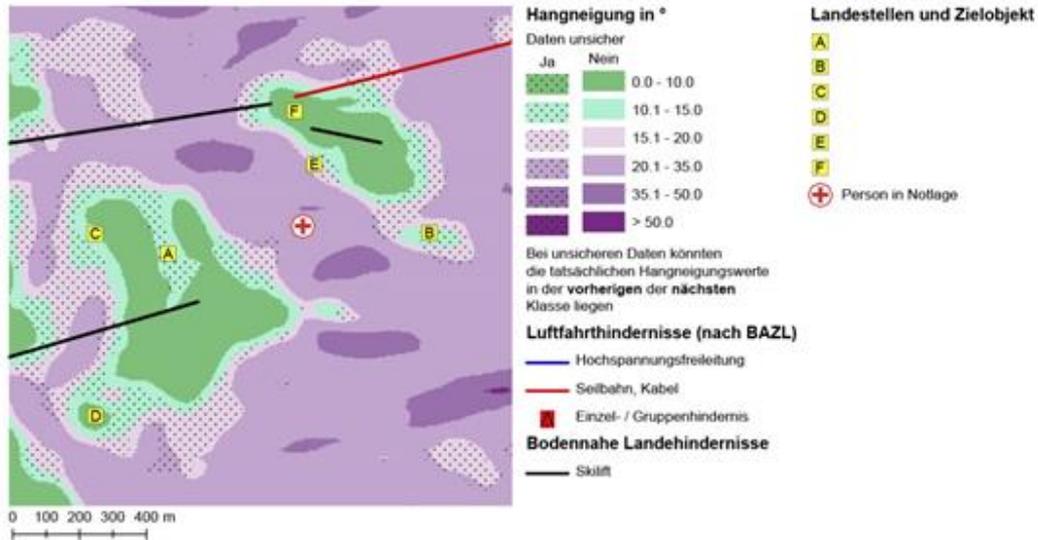
An welcher Stelle möchten Sie landen?

	A	B	C	D	E	F
Landestelle	<input type="radio"/>					

Entscheidungsaufgabe



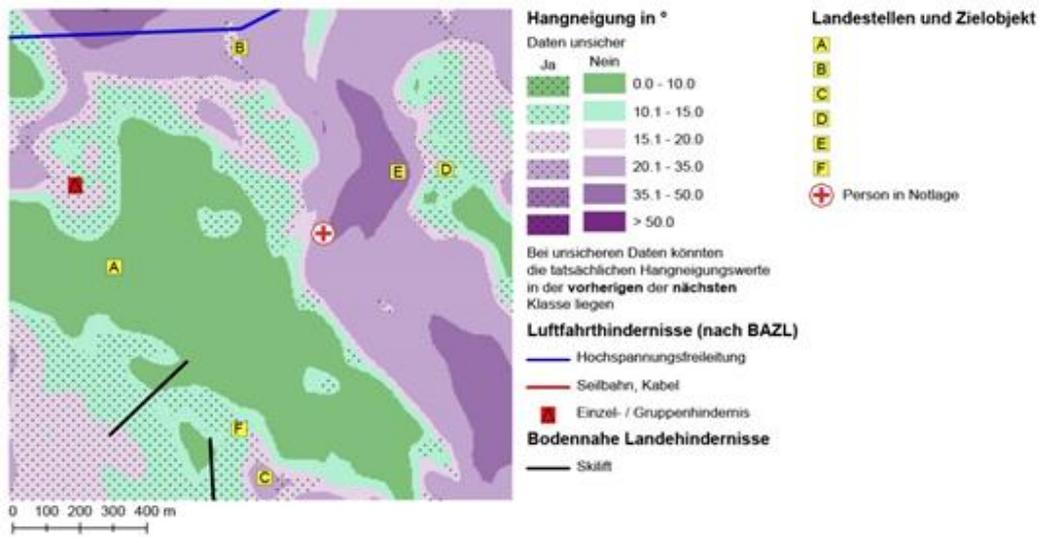
Entscheidungsaufgabe



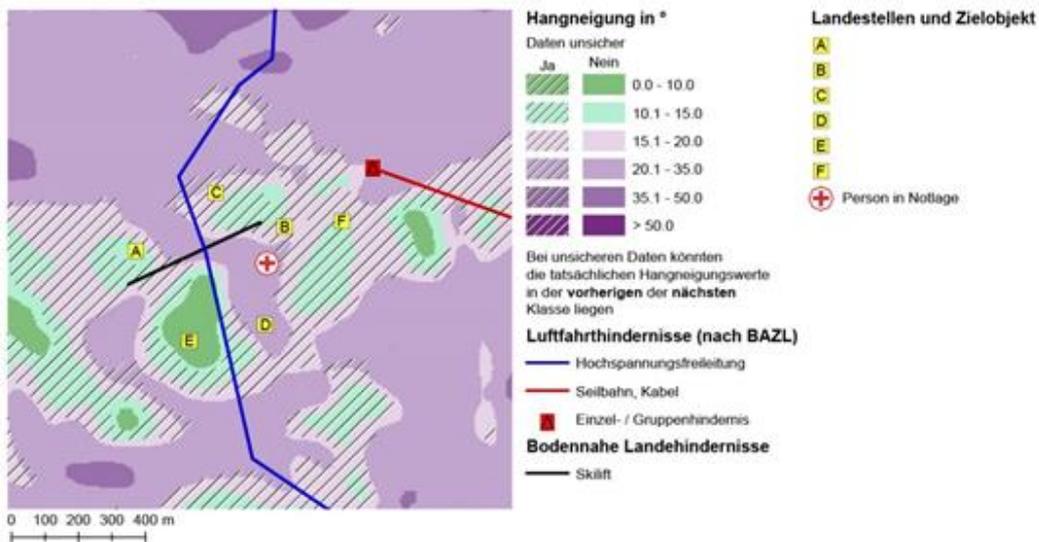
Entscheidungsaufgabe



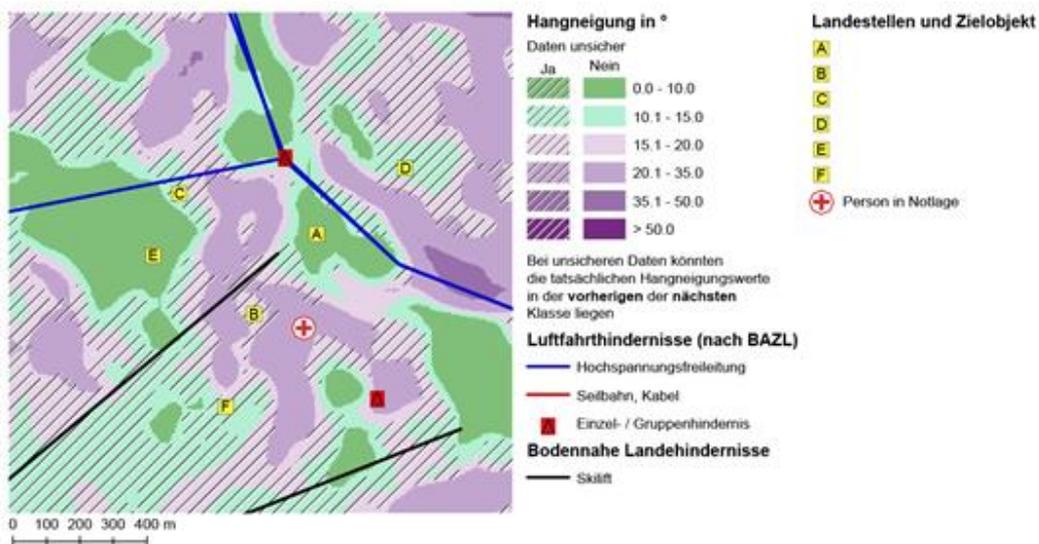
Entscheidungsaufgabe



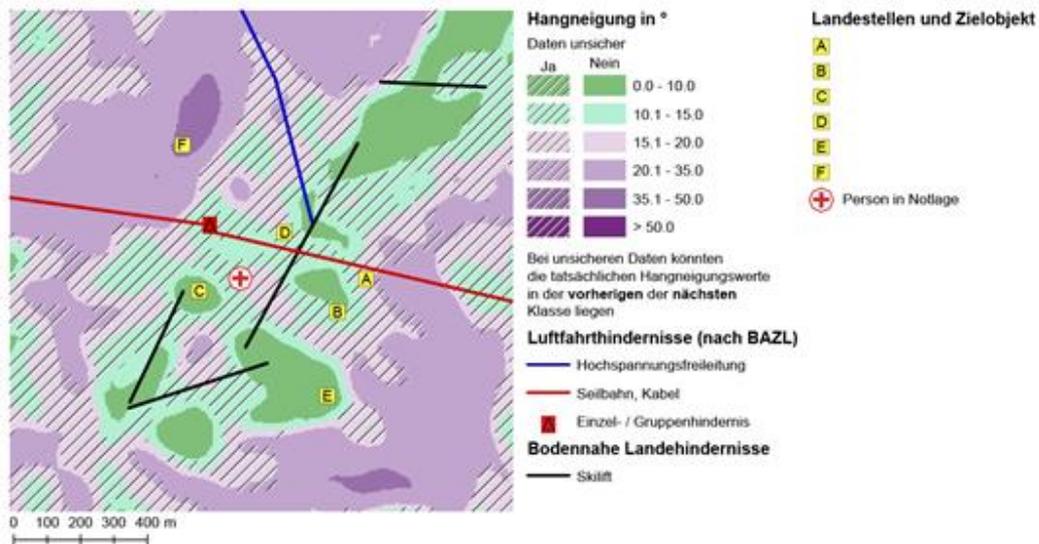
Entscheidungsaufgabe



Entscheidungsaufgabe



Entscheidungsaufgabe



3. Teil: Abschlussfragen und Rückmeldung

Frage 25

War das Szenario, in das Sie sich hineinversetzen sollten (Helikopterpilot/in bei der Rega, Suche nach geeignetem Landeplatz), für Sie verständlich und nachvollziehbar?

- Ja, ich habe es gut verstanden und konnte es nachvollziehen
- Ja, aber ich hätte mir dennoch noch einige zusätzliche Erläuterungen gewünscht
- Nein, ich habe das Szenario nicht oder nicht vollständig verstanden und fand es schwierig nachvollziehbar

Frage 26

Ist es für Sie verständlich und nachvollziehbar, weshalb es in den Hangneigungsdaten zu Unsicherheiten kommen kann?

- Ja, ich habe das Konzept der Unsicherheit in Hangneigungsdaten gut verstanden
- Ja, aber ich hätte mir dennoch noch einige zusätzliche Erläuterungen über Unsicherheiten gewünscht
- Nein, ich habe nicht vollständig verstanden, weshalb es zu Unsicherheiten in Hangneigungsdaten kommen kann

Frage 27

Wie schwierig fanden Sie die Entscheidungsaufgaben?

Sehr einfach	Einfach	Neutral	Schwierig	Sehr schwierig
<input type="radio"/>				

Frage 28

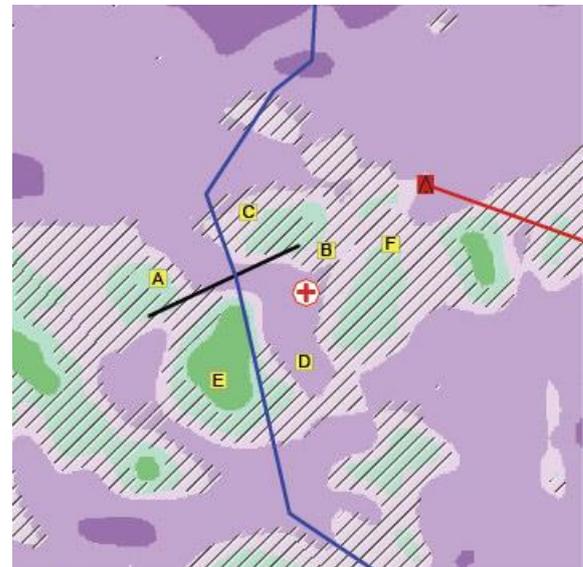
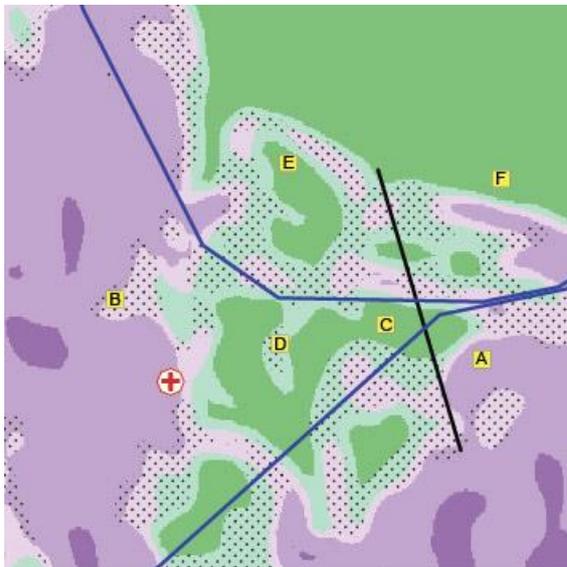
Weshalb fanden Sie die Entscheidungsaufgaben schwierig oder sehr schwierig?

Bitte beschreiben Sie mit Stichworten oder kurzen Sätzen, was die Aufgaben in Ihren Augen schwierig oder sehr schwierig macht.

 **Frage 29**

Welche der zwei verwendeten Darstellungsmethoden für unsichere Daten bevorzugen Sie?

Bitte begründen Sie im Textfeld mit einigen Stichworten oder kurzen Sätzen weshalb Sie die ausgewählte Methode bevorzugen.



- Schwarz gepunktete Darstellungsmethode
- Schwarz-weiss gestrichelte Darstellungsmethode

Begründung:

Frage 30

Haben Sie noch Anmerkungen oder Anregungen zu den gelösten Entscheidungsaufgaben?

Gibt es in Bezug auf die Szenario-Beschreibung oder die Darstellung der Karten etwas, was man in Ihren Augen anders machen könnte oder sollte?

Gibt es sonst noch etwas in Bezug auf diese Vorstudie worüber Sie sich gerne äussern würden?

Falls ja, bitte ich Sie dies mir im Kommentarfeld mitzuteilen.



Weiss nicht/Keine Angabe

C. Einwilligungsf formular der Hauptstudie

Universität Zürich – Teilnehmerinformation und Einwilligungsf formular Unsicherheitsvisualisierungen bei kartenbasierten Entscheidungen
Mai 2017
Teilnehmer-Nr.:

Zweck der Studie

Sie sind eingeladen, an einer Studie über den Gebrauch von Unsicherheitsvisualisierungen bei kartenbasierten Entscheidungen teilzunehmen. Wir möchten mit dieser Studie neue Erkenntnisse über den Gebrauch von visualisierten Unsicherheiten bei der Entscheidungsfindung unter verschiedenen Bedingungen und den damit verbundenen kognitiven Prozessen gewinnen. Dieses Experiment wird von der Masterstudentin

Michelle Korporaal im Rahmen ihrer Masterarbeit durchgeführt. Die Masterarbeit wird von Prof. Dr. Sara Fabrikant am Geographischen Institut der Universität Zürich geleitet.

Ablauf der Studie und damit verbundene mögliche Risiken

Falls Sie sich entscheiden an der Studie teilzunehmen, werden Sie zuerst gebeten, einen Fragebogen über Ihr persönliches Empfinden zu beantworten, einige allgemeine Angaben zu Ihrer Person zu machen, sowie einen Test zu lösen, womit ihre räumliche Denkfähigkeit ermittelt wird. Im darauffolgenden Hauptteil werden Sie gebeten, einige kartenbasierte Entscheidungsaufgaben am Computer zu lösen. Während des Experiments werden Ihre Augenbewegungen aufgezeichnet. Das ist für Sie völlig schmerzfrei und ungefährlich. Abschliessend werden Sie abermals gebeten, Angaben über Ihr Empfinden zu machen und einen kurzen Fragebogen über die gelösten Aufgaben auszufüllen. Es werden insgesamt folgende Daten anonymisiert registriert: Antworten zu den gestellten Fragen und den Fragebögen, die Antwortzeiten, Ihre Augenbewegungen und die Interaktionen mit dem Display. Der Versuch findet im Raum 25-L-9 («Eye Movement Lab») des Geographischen Instituts an der Universität Zürich statt. Er dauert ungefähr 45 - 60 Minuten und beinhaltet keinerlei Risiken für Sie.

Vertraulichkeit der Daten

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

Entschädigung

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

Bekanntgabe der Ergebnisse

Wenn Sie über die Ergebnisse der Studie auf dem Laufenden gehalten werden möchten, bitten wir Sie, 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) oder Michelle Korporaal (079 819 40 31, mkorporaal@bluewin.ch), diese gerne beantworten.

Sie erhalten eine Kopie dieses Dokuments.

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

Unterschrift des Teilnehmers

Unterschrift der Experimentleiterin

Vor- und Nachname in Blockschrift

Vor- und Nachname in Blockschrift

Ort/Datum: _____

Universität Zürich – Teilnehmerinformation und Einwilligungsformular Unsicherheitsvisualisierungen bei kartenbasierten Entscheidungen
--

Mai 2017

Teilnehmer-Nr.:

Widerruf der Einwilligung

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

Unterschrift des Teilnehmers

Vor- und Nachname in Blockschrift

Ort/Datum: _____

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.

D. Short State Stress Questionnaire

Im Folgenden sind lediglich die Fragen des SSSQ ohne die Antwortskalen aufgeführt. Alle Fragen wurden auf einer 5-teiligen Likert-Skala von 1 «trifft gar nicht zu» bis 5 «trifft voll zu» beantwortet.

1. Ich fühle mich zufrieden.
2. Ich fühle mich wachsam und in Alarmbereitschaft.
3. Ich fühle mich bedrückt.
4. Ich fühle mich traurig.
5. Ich fühle mich aktiv.
6. Ich fühle mich ungeduldig.
7. Ich fühle mich verärgert.
8. Ich fühle mich wütend.
9. Ich fühle mich genervt.
10. Ich fühle mich mürrisch / verärgert.
11. Ich fühle mich verpflichtet, meine Leistungsziele zu erreichen.
12. Ich möchte bei der Aufgabe erfolgreich sein.
13. Ich bin motiviert die Aufgabe zu erfüllen.
14. Ich versuche über mich selber im Klaren zu sein.
15. Ich reflektiere über mich selber.
16. Ich bin tagträumerisch.
17. Ich habe Vertrauen in meine Fähigkeiten.
18. Ich bin selbstbewusst.
19. Ich bin besorgt darüber, was andere über mich denken.
20. Ich bin beunruhigt über den Eindruck, den ich hinterlasse.
21. Ich erwarte, dass ich die Aufgabe gut lösen werde.
22. Grundsätzlich finde ich, dass ich die Kontrolle über alles habe.
23. Ich dachte darüber nach, wie andere die Aufgabe gelöst haben.
24. Ich dachte darüber nach, wie andere die Aufgabe gelöst haben.
25. Ich dachte darüber nach, wie ich mich fühle, wenn mir gesagt wird, wie ich die Aufgaben gelöst habe.

E. Persönlichkeitsfragebogen

Frage 25

Ihr Geschlecht:

- Weiblich
- Männlich

Frage 26

Ihr Alter:

-

Frage 27

Was ist Ihre höchste abgeschlossene Ausbildung?

- Kein Abschluss
- Obligatorische Grundschule
- Berufslehre
- Maturität
- Höhere Berufsbildung
- Uni, Hochschule

Frage 28

Wurde Ihnen von einer Fachperson (Augenarzt, Optiker) mitgeteilt, dass Sie von einer Rot-Grün Sehschwäche oder Farbenblindheit betroffen sind?

- Ja, Rot-Grün Sehschwäche
- Ja, Farbenblindheit
- Nein

Frage 29

Sind Sie oder waren Sie im Besitz eines Helikopterflugscheins?

- Ja
- Nein

Frage 30

Sind Sie oder waren Sie im Besitz eines Segelflugscheins und/oder eines Gleitschirmbrevets?

- Ja
 Nein

Frage 31

Wie häufig gehen Sie Freizeitaktivitäten nach, die den Gebrauch von Karten erfordern (zum Beispiel Wandern, Fahrradfahren, Orientierungslauf, Skitouren, Segeln, Geocaching)?

Nie	Selten	Manchmal	Oft	Sehr oft (mehrmals pro Woche)
<input type="radio"/>				

Frage 32

Wie häufig spielen Sie Videospiele?

Nie	Selten	Manchmal	Oft	Sehr oft (mehrmals pro Woche)
<input type="radio"/>				

Frage 32

Wie viel Erfahrung haben Sie in den folgenden Bereichen?

(1 = gar keine Erfahrung, 5 = sehr viel Erfahrung/ täglicher Gebrauch)

	1	2	3	4	5
Kartographie	<input type="radio"/>				
GIS (Geographische Informationssysteme)	<input type="radio"/>				
Topographische Karten	<input type="radio"/>				
Digitale Höhenmodelle (DHM, englisch DTM)	<input type="radio"/>				

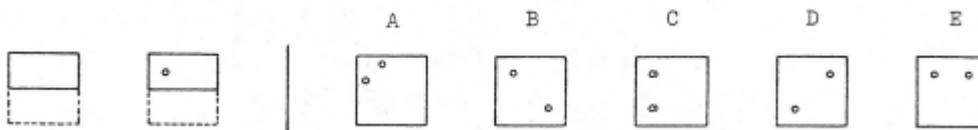
F. Papierfalttest

Bei der untenstehenden Instruktion des Papierfalttests handelt es sich um eine eigene Übersetzung der Instruktion von Ekstrom *et al.* (1976).

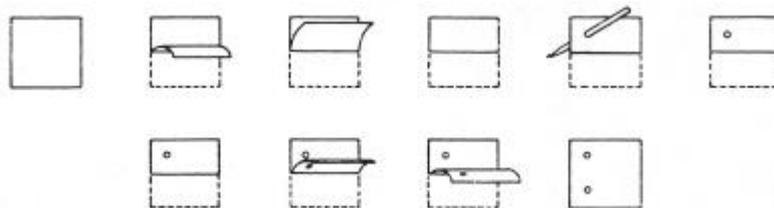
PAPIERFALTTEST- VZ - 2

In diesem Test geht es darum, sich das Zusammen- und Auseinanderfalten von einem Stück Papier vorzustellen. In jeder Aufgabe des Tests sind links einer vertikalen Linie einige Figuren zu sehen und weitere Figuren rechts der vertikalen Linie. Die Figuren auf der linken Seite stellen ein quadratisches Papierstück dar, das schrittweise gefaltet wird. Jeweils auf der letzten Figur auf der linken Seite sind ein oder zwei kleine Kreise eingezeichnet, die zeigen, wo das Papier durchstochen wurde. Jedes Loch wurde durch alle Schichten des Papiers an diesem Punkt gestochen. Eine der fünf Figuren auf der rechten Seite der Linie zeigt, wo sich die eingestochenen Löcher befinden, wenn das Papier komplett aufgefaltet wird. Ihre Aufgabe ist es, zu entscheiden, welche dieser fünf Figuren korrekt ist. Kreuzen Sie die korrekte Figur deutlich an.

Probieren Sie nun die untenstehende Beispielaufgabe zu lösen (in dieser Aufgabe wurde nur ein Loch in das gefaltete Papier gestochen).



Die korrekte Antwort zur obenstehenden Beispielaufgabe ist C, weshalb die Figur C angekreuzt sein sollte. Die untenstehenden Figuren zeigen, wie das Papier gefaltet wurde und weshalb C die korrekte Antwort ist.



Bei den folgenden Aufgaben werden alle Faltungen des Papiers einzeln in den Figuren auf der linken Seite der Linie gezeigt, wobei das Papier abgesehen von den dargestellten Faltungen nie gedreht oder anderweitig bewegt wird. Denken Sie daran, die korrekte Antwort ist diejenige Figur, die die Position der Löcher zeigt, nachdem das Papier komplett aufgefaltete wurde.

Ihre Punktzahl in diesem Test wird berechnet anhand der Anzahl korrekter Antworten minus der Anzahl falscher Antworten. Es ist daher nicht zu Ihrem Vorteil, zu raten, ausser Sie können eine oder mehrere Antworten als falsch ausschliessen.

Sie haben jeweils 3 Minuten für jeden der zwei Teile dieses Tests. Jeder Teil hat 1 Seite. Wenn Sie mit dem 1. Teil fertig sind, stoppen Sie. Bitte fahren Sie nicht mit dem 2. Teil fort, bevor Sie dazu aufgefordert werden.

BLÄTTERN SIE NICHT UM, BEVOR SIE DAZU GEBETEN WERDEN.

G. Szenario-Beschreibung

Die Szenario-Beschreibungen der OZ- und der UZ-Gruppen sind nicht identisch, da bei der UZ-Gruppe bereits in der Beschreibung der Aspekt des Zeitdrucks eingeführt wurde. Alle Textstellen, die in der Beschreibung der OZ-Gruppe nicht vorhanden waren, sondern in der Beschreibung der UZ-Gruppe hinzugefügt wurden, sind in der folgenden Szenario-Beschreibung kursiv geschrieben. In der Studie waren diese Stellen bei der UZ-Gruppe in normaler Schrift gehalten. Bei beiden Gruppen wurden jedoch besonders wichtige Aspekte in der Beschreibung fett geschrieben.

Stellen Sie sich vor, Sie sind Helikopterpilot/in bei der Rega und müssen in einer Gebirgsgegend ohne befestigte Gebirgslandeplätze landen, um eine Person *möglichst schnell* aus einer Notsituation zu retten.

Als Entscheidungshilfe haben Sie eine Karte der Gegend, in der Sie landen müssen, zur Hand. In dieser Karte hat Ihr noch unerfahrener Copilot bereits sechs Stellen eingezeichnet, die er als Landeplätze vorschlägt. Einige dieser Stellen sind jedoch für eine Helikopterlandung vollkommen ungeeignet, auf den anderen ist eine Landung theoretisch möglich. Ihre Aufgabe ist es jeweils, sich *so schnell wie möglich* zu entscheiden an welcher Stelle Sie landen möchten, *denn je eher Sie bei der Person in Notlage sind, desto eher kann ihr geholfen werden*. Da Sicherheit an erster Stelle steht, sollten Sie sich jeweils für die Ihrer Meinung nach **bestmögliche Stelle** entscheiden und nicht nur für irgendeine der theoretisch passenden. Wenn mehrere Stellen theoretisch passend sind, ist diejenige Stelle, die am allernächsten zur Person in Notlage ist, die bestmögliche Stelle.

Bei der Karte handelt es sich um eine **Hangneigungskarte** mit zusätzlichen für die Landung relevanten Elementen. Eine Hangneigungskarte zeigt die Steilheit des Geländes in Grad (°). Die Steilheit ist in insgesamt sechs Klassen klassiert, sodass auf der Karte sechs verschieden eingefärbte **Steigungsklassen** zu sehen sind.

Bei den zusätzlichen Elementen handelt es sich zum einen um **Luftfahrthindernisse** (Gebäude, Antennen, Türme, Kräne, Seilbahnen, Windkraftanlagen, Hochspannungsleitungen oder weitere hohe Anlagen). Alle Luftfahrthindernisse werden vom Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) erfasst, verwaltet und an Piloten kommuniziert. In Gebirgsgebieten sind sie mindestens 25 Meter hoch. Weitere zusätzliche Elemente sind **Skilifte**, die weniger als 25 Meter hoch sind, aber für eine Helikopterlandung ebenfalls von Bedeutung sind.

- 1) Die Hangneigung sollte idealerweise zwischen 0-8° liegen, zwischen 8-15° ist eine Landung etwas schwerer aber noch immer machbar, Hangneigungen über 15° sind zu steil für Landungen. (Zusammengefasst: **Hangneigung > 10° ideal, 10-15° machbar, > 15° ungeeignet**)
- 2) Der Abstand zu **Luftfahrthindernissen** (Einzel- und Gruppenhindernisse, Seilbahnen, Kabel und Hochspannungsfreileitungen) muss **mindestens 100 Meter** betragen.

- 3) Der Abstand zu **Skiliften** muss **mindestens 200 Meter** betragen, da es dort zu grösseren Menschenansammlungen im Freien kommen kann.

Erfüllen mehrere Stellen alle drei Kriterien ist diejenige Stelle mit der geringsten Distanz zur Person in Notlage zu wählen.

Da Sie sich möglichst schnell entscheiden sollten, ist die Zeit, die Ihnen jeweils für Ihre Entscheidung zur Verfügung steht, durch einen Timer limitiert. Entscheiden Sie sich für eine Landestelle, bevor die Zeit abläuft!

H. Beschreibung des Konzepts von Unsicherheiten in DHMs

Die Hangneigungswerte in der Hangneigungskarte, die Sie benützen werden, wurden aus Höhendaten berechnet. Höhenwerte können nicht für jeden Punkt in der Schweiz exakt gemessen werden. Daher werden an ausgewählten Stellen präzise Messungen durchgeführt und darauf basierend werden die Höhenwerte für die ganze Schweiz flächendeckend berechnet.

Dieses Vorgehen hat zur Folge, dass es Unsicherheiten in den flächendeckenden Höhenangaben gibt. Das heisst, der angegebene Wert kann vom tatsächlichen Wert abweichen. Folglich gibt es auch Unsicherheiten in den daraus berechneten Hangneigungswerten. In Regionen mit besonders grossen Unsicherheiten, kann der tatsächliche Hangneigungswert so weit abweichen, dass er in eine andere Hangneigungsklasse fällt, als in der Hangneigungskarte angegeben.

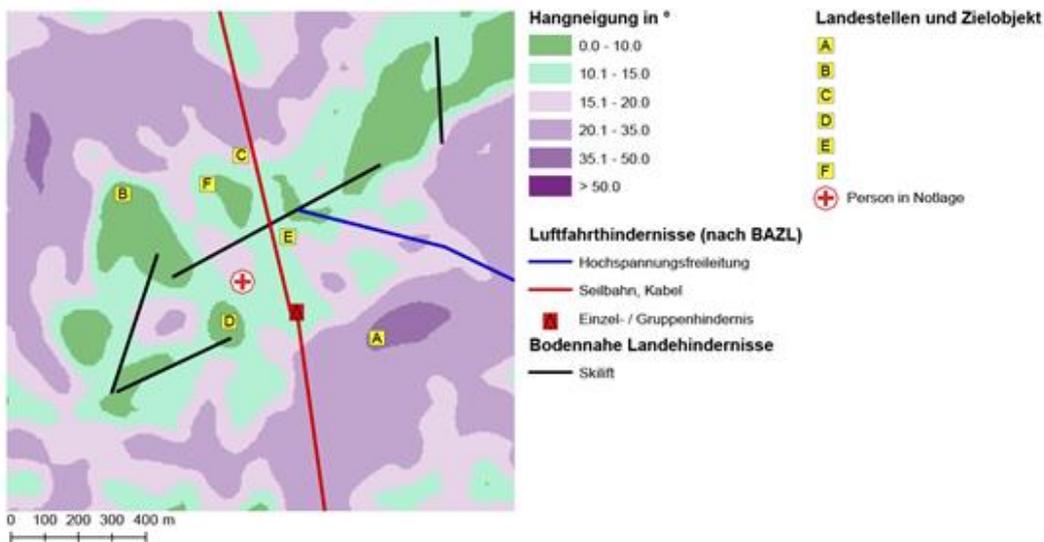
In einigen Karten, die Sie zu sehen bekommen, sind nun diese Regionen mit besonders grosser Unsicherheit in den Hangneigungswerten zusätzlich zu den anderen Elementen eingezeichnet. Der tatsächliche Hangneigungswert in Regionen mit eingezeichneten Unsicherheiten kann über 5° vom angegebenen Wert abweichen, weshalb der Wert in der **vorherigen** oder **nächsten** Klasse liegen könnte.

Die **Entscheidungsaufgabe**, die Sie gleich lösen müssen, sowie alle **Kriterien** dazu bleiben auch auf Karten mit eingezeichneter Unsicherheit **genau gleich**.

I. Entscheidungsaufgaben der Hauptstudie

In diesem Teil des Anhangs sind die 16 Entscheidungsaufgaben der Hauptstudie aufgeführt, wobei zuerst die acht Entscheidungsaufgaben ohne und dann die acht Entscheidungsaufgaben mit Unsicherheitsvisualisierungen zu sehen sind. Zu jeder Entscheidungsaufgabe gehören die Frage «An welcher Stelle möchten Sie landen?» sowie die Antwortskala dazu. Beide sind nur einmal bei der ersten Entscheidungsaufgabe aufgeführt. In der Hauptstudie war jede Aufgabe nur mit dem Titel «Entscheidungsaufgabe» versehen. An dieser Stelle ist im Titel jeder Entscheidungsaufgabe jedoch noch aufgeführt, um welche Aufgabe es sich konkret handelt (Variante, Ort, Original oder Duplikat), damit mithilfe der Tabellen in Anhang A nachvollzogen werden kann, wie jede einzelne Landestelle zu bewerten ist. Nach jeder Entscheidungsaufgabe folgte in der Hauptstudie zudem eine Frage zur Entscheidungssicherheit. Diese ist hier exemplarisch ebenfalls nur einmal nach der ersten Entscheidungsaufgabe aufgeführt.

Entscheidungsaufgabe (Variante 1, Region 1, Arosa, Duplikat)



An welcher Stelle möchten Sie landen?

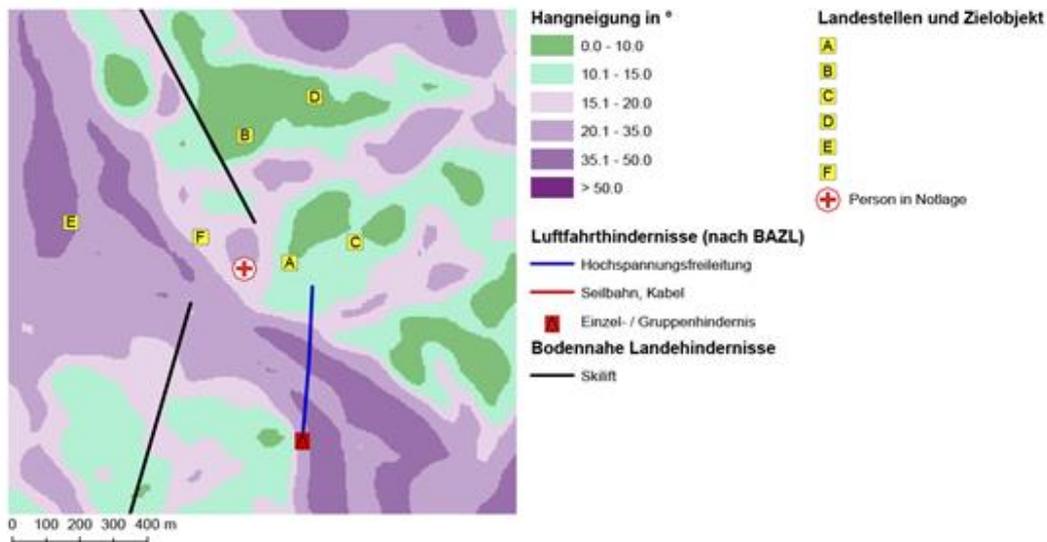
	A	B	C	D	E	F
Landestelle	<input type="radio"/>					

Frage 9

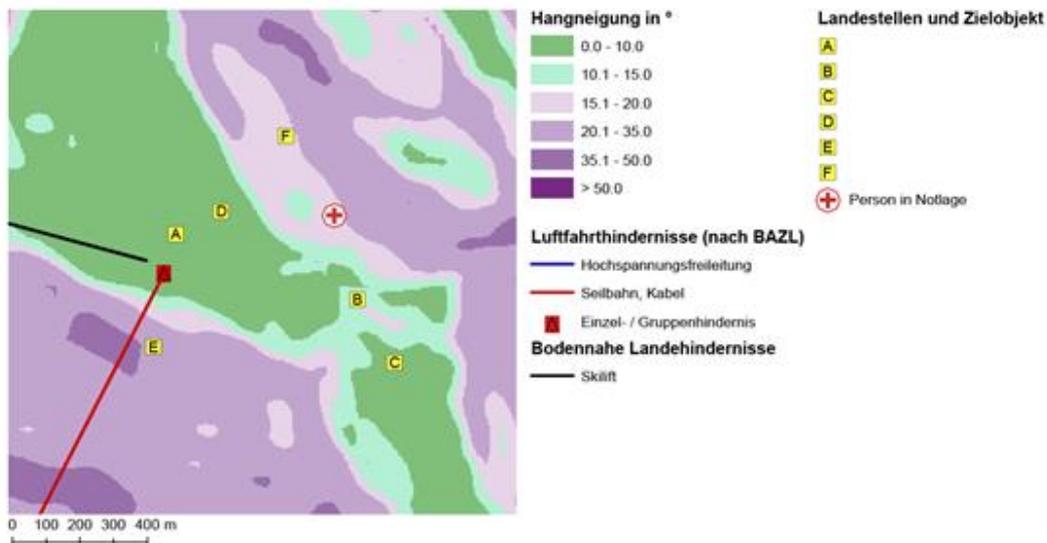
Wie sicher sind Sie sich in Ihrer vorherigen Antwort?

Sehr unsicher	Etwas unsicher	Neutral	Sicher	Sehr sicher
<input type="radio"/>				

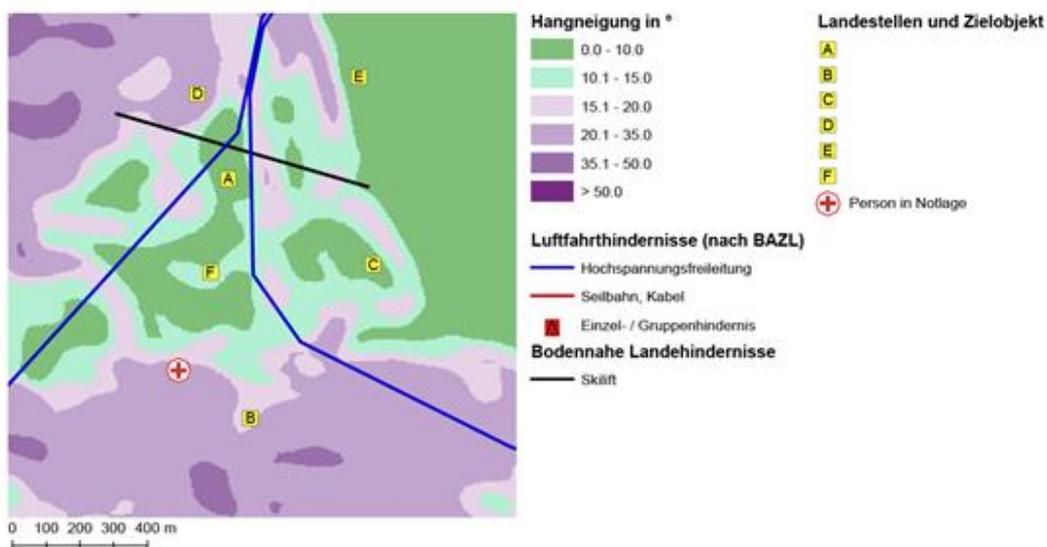
Entscheidungsaufgabe (Variante 1, Region 2, Serneus, Original)



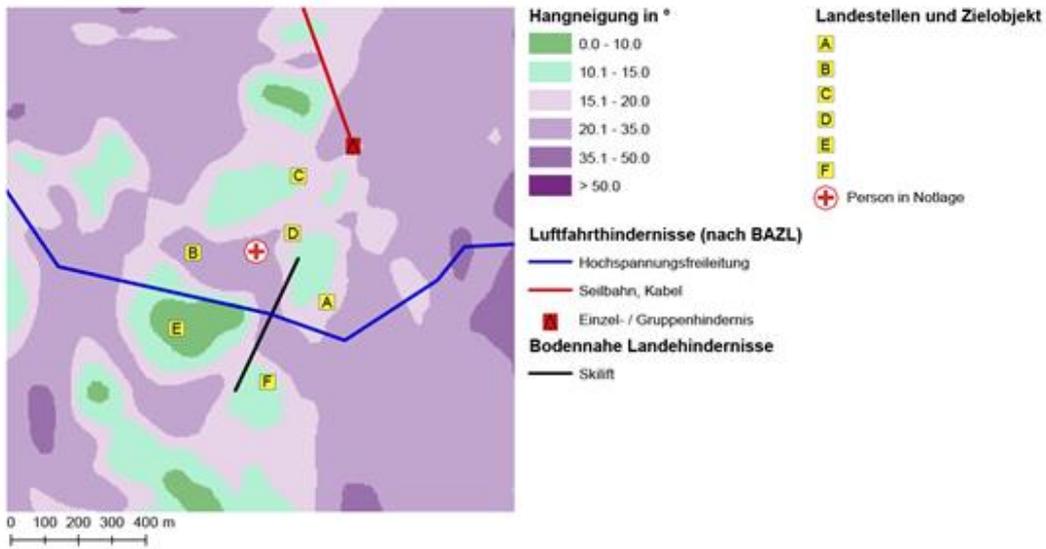
Entscheidungsaufgabe (Variante 2, Region 1, Churwalden, Original)



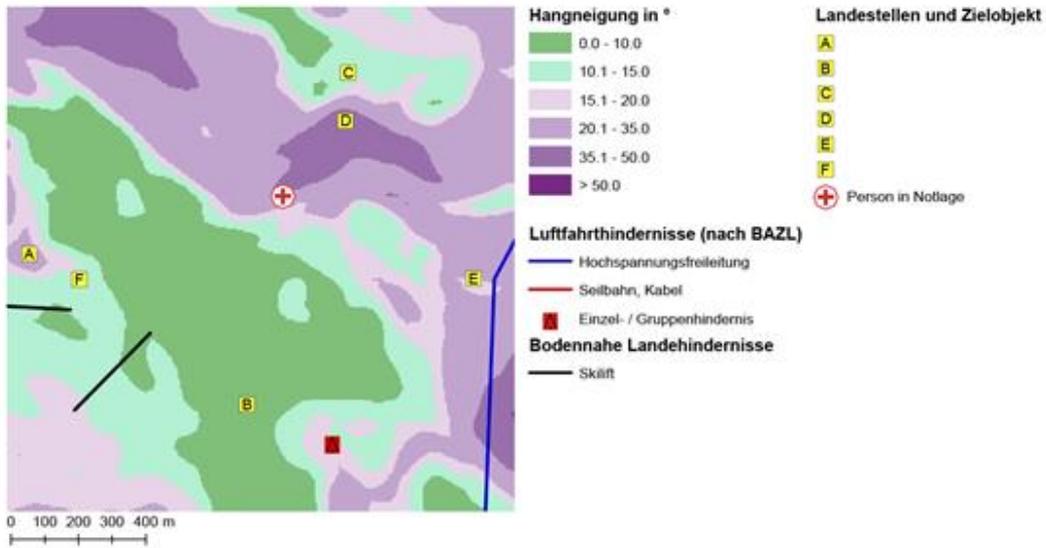
Entscheidungsaufgabe (Variante 2, Region 2, Klosters, Duplikat)



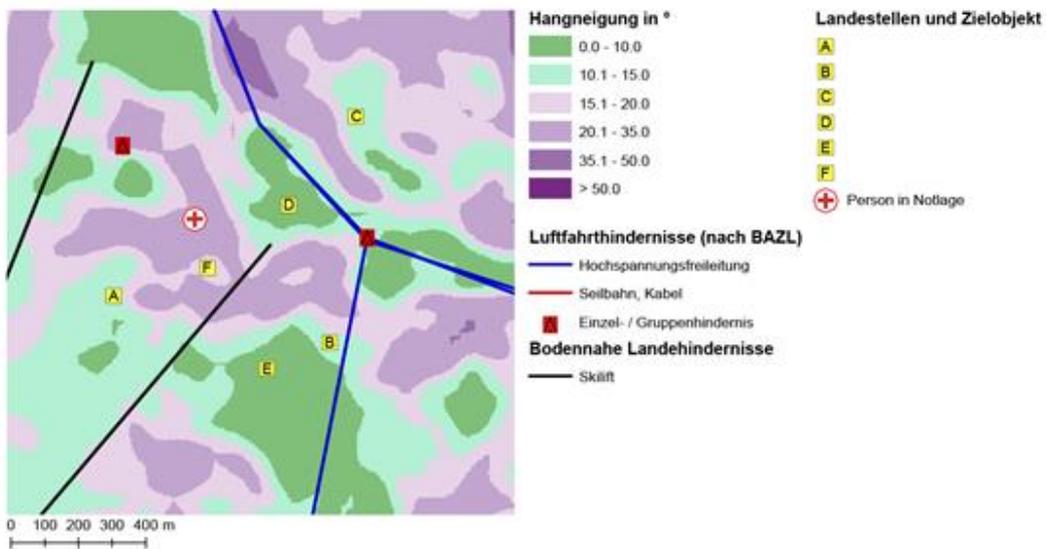
Entscheidungsaufgabe (Variante 3, Region 1, Serneus, Duplikat)



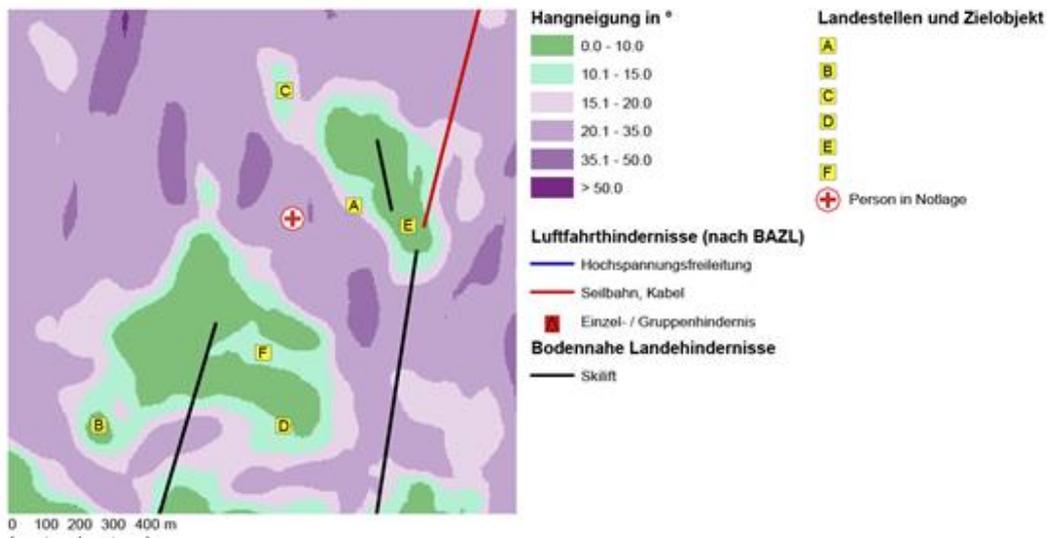
Entscheidungsaufgabe (Variante 3, Region 2, Bergün, Original)



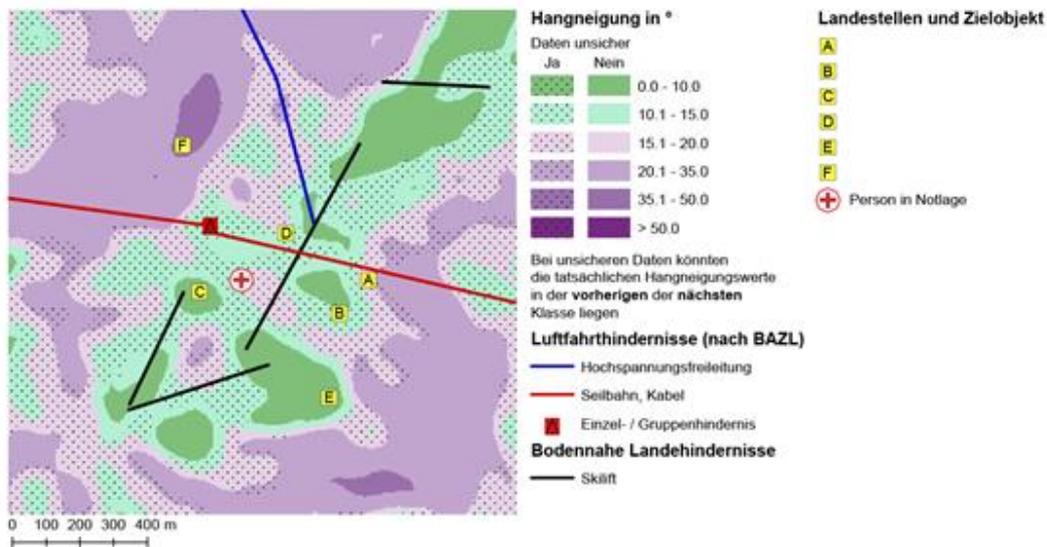
Entscheidungsaufgabe (Variante 4, Region 1, Bivio, Original)



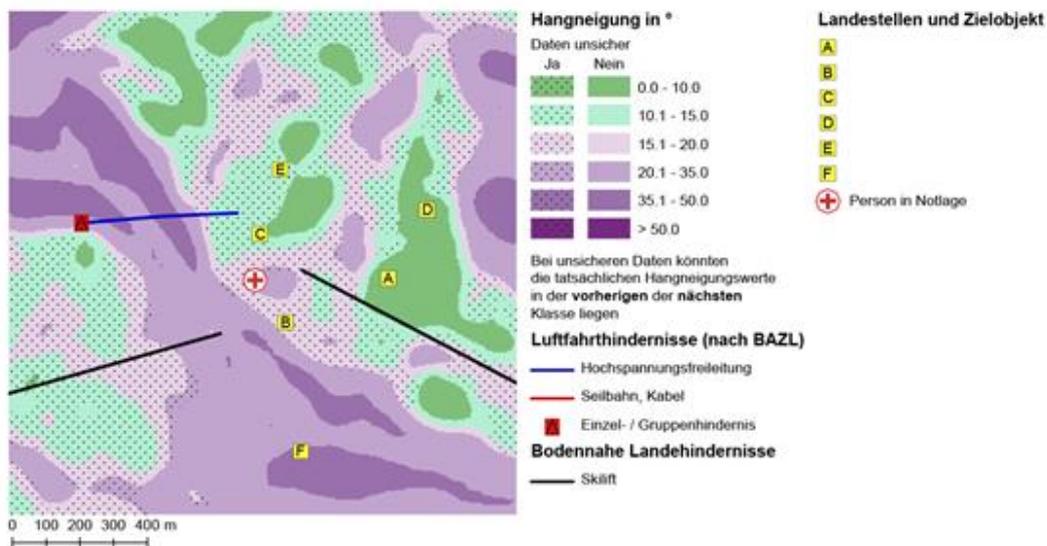
Entscheidungsaufgabe (Variante 4, Region 2, San Bernadino, Duplikat)



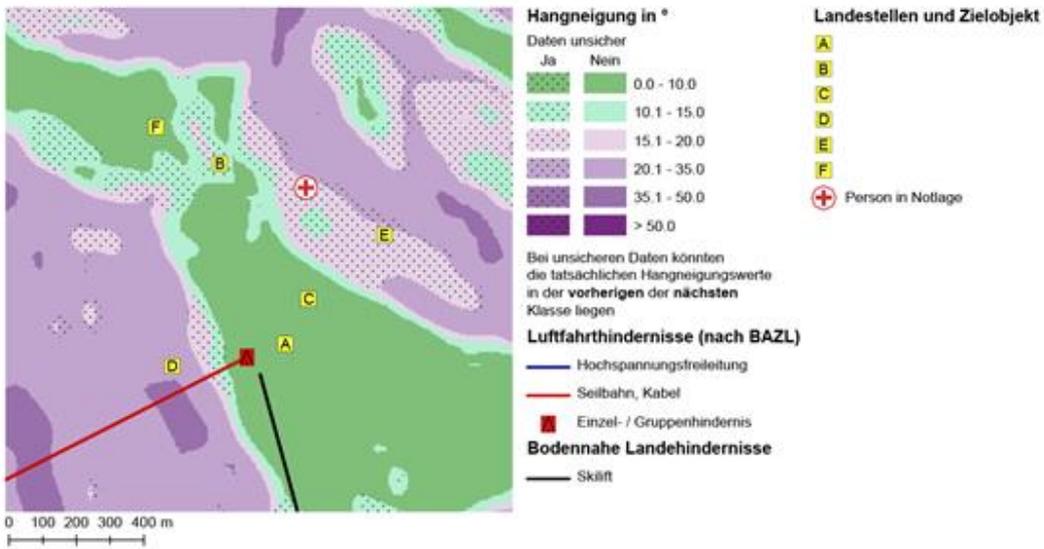
Entscheidungsaufgabe (Variante 1, Region 1, Arosa, Original)



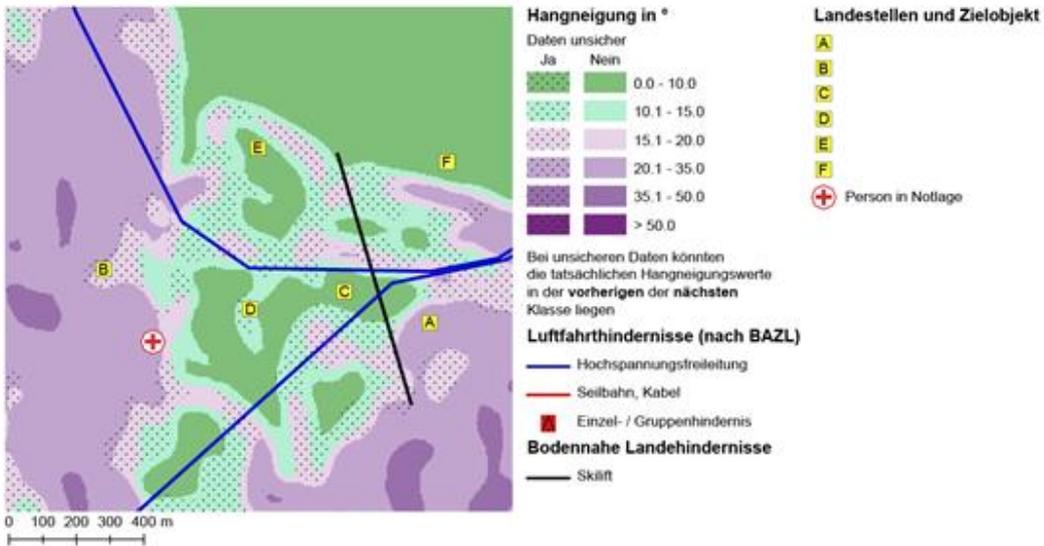
Entscheidungsaufgabe (Variante 1, Region 2, Serneus, Duplikat)



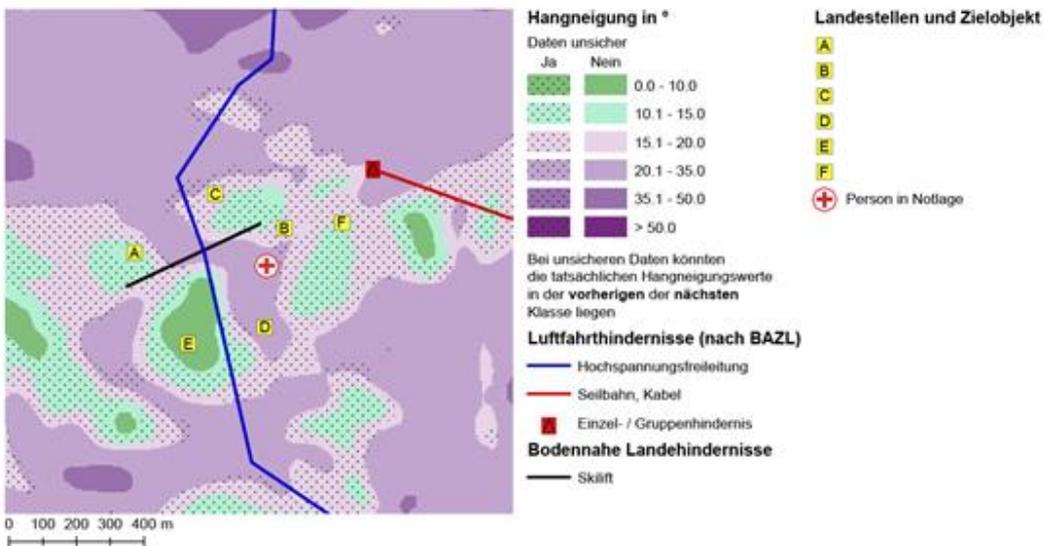
Entscheidungsaufgabe (Variante 2, Region 1, Churwalden, Duplikat)



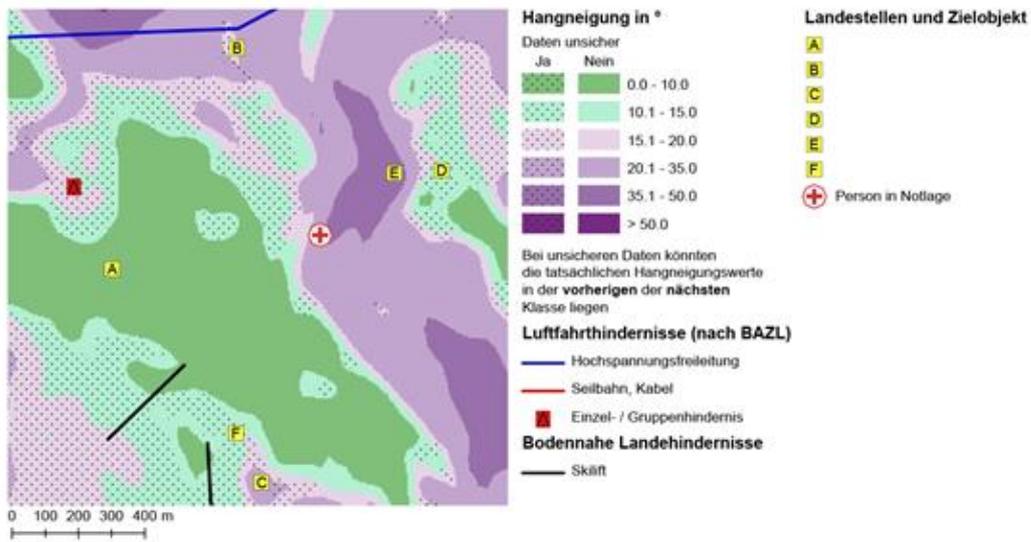
Entscheidungsaufgabe (Variante 2, Region 2, Klosters, Original)



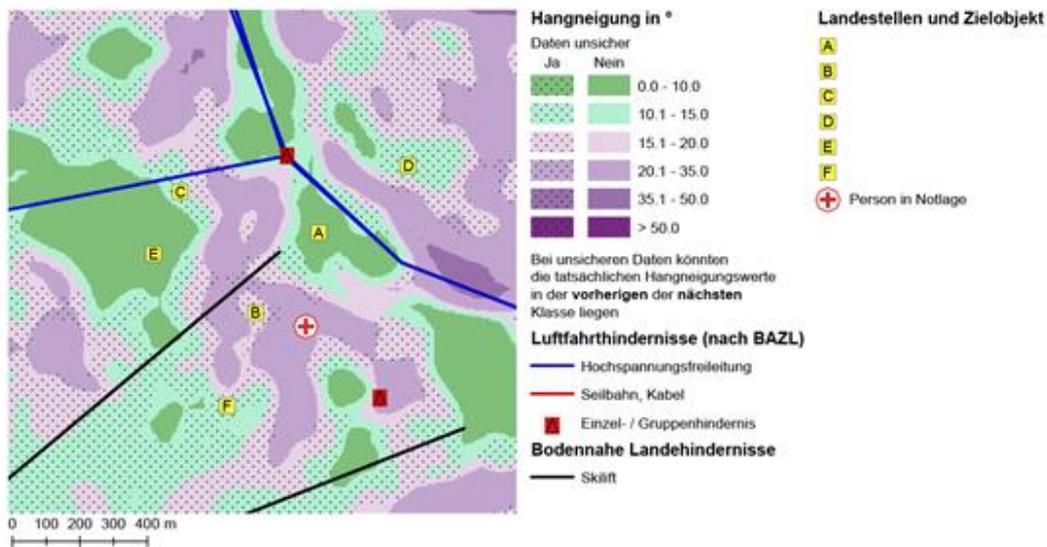
Entscheidungsaufgabe (Variante 3, Region 1, Tschierschen, Original)



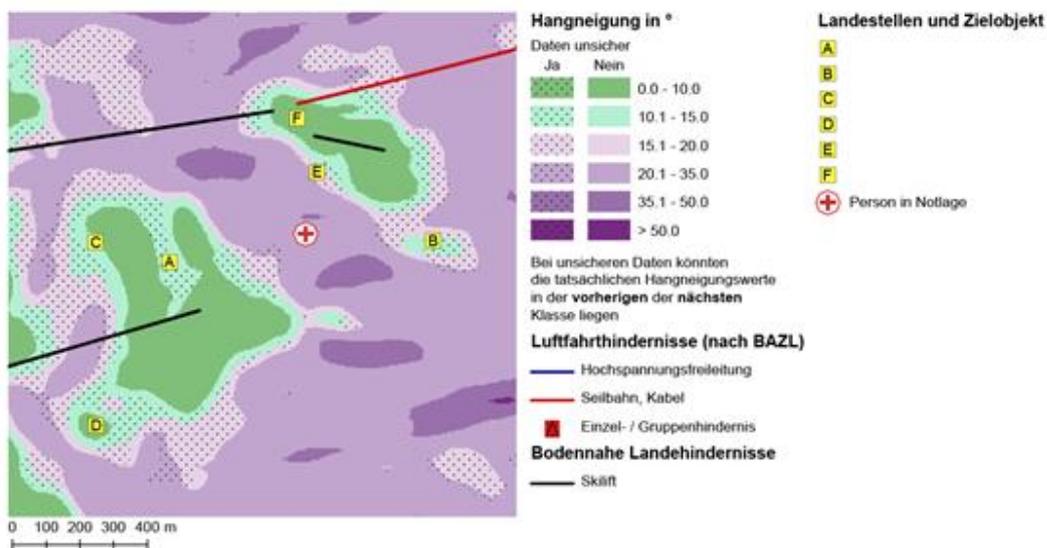
Entscheidungsaufgabe (Variante 3, Region 2, Bergün, Duplikat)



Entscheidungsaufgabe (Variante 4, Region 1, Bivio, Duplikat)



Entscheidungsaufgabe (Variante 4, Region 2, San Bernadino, Original)



J. Nachbefragung der Hauptstudie

Nachfolgend sind alle Fragen der Nachbefragung aufgelistet. Die Frage 28 musste nur beantwortet werden, wenn die Frage 27 mit «schwierig» oder «sehr schwierig» beantwortet wurde. Zudem musste die Frage 29 nur von den Teilnehmern der UZ-Gruppe beantwortet werden.

Frage 25

War das Szenario, in das Sie sich hineinversetzen sollten (Helikopterpilot/in bei der Rega), für Sie verständlich und nachvollziehbar?

- Ja, ich habe es gut verstanden und konnte es nachvollziehen
- Ja, aber ich hätte mir dennoch noch einige zusätzliche Erläuterungen gewünscht
- Nein, ich habe das Szenario nicht oder nicht vollständig verstanden und fand es schwierig nachvollziehbar

Frage 26

Ist es für Sie verständlich und nachvollziehbar, weshalb es in den Hangneigungsdaten zu Unsicherheiten kommen kann?

- Ja, ich habe das Konzept der Unsicherheit in Hangneigungsdaten gut verstanden
- Ja, aber ich hätte mir dennoch noch einige zusätzliche Erläuterungen über Unsicherheiten gewünscht
- Nein, ich habe nicht vollständig verstanden, weshalb es zu Unsicherheiten in Hangneigungsdaten kommen kann

Frage 27

Wie schwierig fanden Sie die Entscheidungsaufgaben?

Sehr einfach	Einfach	Neutral	Schwierig	Sehr schwierig
<input type="radio"/>				

Frage 28

Weshalb fanden Sie die Entscheidungsaufgaben schwierig oder sehr schwierig?

Bitte beschreiben Sie mit Stichworten oder kurzen Sätzen, was die Aufgaben in Ihren Augen schwierig oder sehr schwierig macht.

Frage 29

Mussten Sie sich bei den Entscheidungsaufgaben beeilen, um rechtzeitig vor Ablauf der Zeitlimits sich für eine Landestelle zu entscheiden?

Nein, nie	Ja, bei einigen wenigen	Ja, bei den meisten	Ja, immer
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 30

Fühlten Sie sich während der Entscheidungsaufgaben gestresst?

Nein, nie	Ja, bei einigen wenigen	Ja, bei den meisten	Ja, immer
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Frage 31

Haben Sie noch Anmerkungen oder Anregungen zu den gelösten Entscheidungsaufgaben oder der Studie im Allgemeinen?

Falls ja, bitte ich Sie dies mir im Kommentarfeld mitzuteilen.

Nein

K. Einladungsmail an die Teilnehmer der Online-Vorstudie

Liebe/r *Vorname*

Wie du vielleicht bereits weisst, arbeite ich zurzeit an meiner Masterarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich. Im Rahmen meiner Masterarbeit werde ich eine Studie über den Gebrauch von visualisierten Unsicherheiten bei der Entscheidungsfindung unter verschiedenen Bedingungen durchführen. Um diese Studie fertig vorbereiten und optimieren zu können, führe ich eine Online-Vorstudie durch.

Ich wäre dir sehr dankbar, wenn du dir die Zeit nehmen könntest, an dieser Vorstudie teilzunehmen. Die Vorstudie dauert ca. 15 - 30 Minuten und du findest sie unter folgendem Link:

<http://www.onlineumfragen.com/login.cfm?umfrage=75211>¹¹

Bitte benütze kein Smartphone, sondern besser ein Tablet, Computer oder Laptop, da ansonsten einige Elemente (v.a. die Karten) nicht komplett dargestellt werden. Sollten die Karten dennoch nicht mit Masstab und Legende als Ganzes sichtbar sein ohne zu scrollen, da sie zu gross für den Bildschirm sind, kannst du im Browserfenster etwas herauszoomen (drücke dazu die ctrl - Taste und die Minus-Taste (-) bzw. die Plus-Taste (+), um wieder herein zu zoomen). Bitte benütze ausserdem während der gesamten Vorstudie nicht den "Zurück" Knopf in deinem Browser, um zu einer vorherigen Frage zurückzukehren. Des Weiteren wäre ich froh, wenn du innerhalb einer Woche (bis am 24.04.17) an dieser Vorstudie teilnehmen könntest.

Alle Antworten in der Vorstudie werden anonym gespeichert, was bedeutet, dass keine Rückschlüsse auf deine Person gezogen werden können.

Herzlichen Dank für deine Hilfe!

Liebe Grüsse

Michelle Korporaal

¹¹ Die Umfrage ist nicht mehr aktiv. Der Link führt daher nicht zur Online-Vorstudie.

L. Einladungsmail an die Teilnehmer der Hauptstudie

Liebe/r *Vorname*

Wie du vielleicht bereits weisst, arbeite ich zurzeit an meiner Masterarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich. Im Rahmen meiner Masterarbeit führe ich eine Studie über den Gebrauch von Unsicherheitsvisualisierungen bei kartenbasierten Entscheidungen durch.

Nun bin ich auf der Suche nach Personen, die sich bereit erklären, an meiner Studie teilzunehmen. Die Studie dauert ca. **45 - 60 Minuten** und findet im Eye Movement Lab (Y25-L-9) auf dem **Irchel Campus** statt (Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich).

Es würde mich sehr freuen, wenn du dir die Zeit nehmen könntest, an meiner Studie teilzunehmen, um mich so in meiner Arbeit zu unterstützen!

Unter folgendem Link findest du eine Auswahl an Terminvorschlägen für deine Teilnahme an meiner Studie:

<http://doodle.com/poll/6svu55ixrgtscyqi>¹²

Wenn dir einer der freien Termine passt, schreibe dich bitte dafür ein. Ich werde dich dann kontaktieren und die Einzelheiten (wo und wann wir uns genau treffen) mit dir klären.

Sollte dir kein Termin passen, ist das kein Problem, schreib mir doch bitte per Mail, SMS oder WhatsApp und wir finden sicher gemeinsam einen Termin, der dir passt.

Eine kleine Nebenbemerkung: Die Studie ist ein sehr wichtiger Teil meiner Masterarbeit und darum muss ich mich darauf verlassen können, dass wenn du an einem Termin zusagst, du dann auch erscheinst.

Vielen Dank für dein Verständnis und deine Hilfe bereits im Voraus!

Liebe Grüsse und hoffentlich bis bald,

Michelle Korporaal

¹² Die Doodle-Umfrage ist nicht mehr aktiv. Der Link führt daher nicht zur Doodle-Umfrage.

Persönliche Erklärung

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

Michelle Korporaal

Zürich, 29.09.2017