

MASTERARBEIT - GEO 511

Einfluss des Realitätsgrades eines dreidimensionalen Stadtmodells auf das Einprägen einer Routenbeschreibung

Tobias Cervenka

10-720-555

Betreuung

Dr. Arzu Çöltekin

Co-Betreuung

Verena Schnitzler

ETH Zürich

Kognitionswissenschaften

Clausiusstrasse 59

8092 Zürich

verena.schnitzler@gess.ethz.ch

Fakultätsvertretung

Prof. Dr. Sara Irina

Fabrikant

Geographische Informationsvisualisierung und Analyse (GIVA)

Geographisches Institut, Universität Zürich

Winterthurerstrasse 190

8057 Zürich, Schweiz

30. September 2016

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss des Realitätsgrades in einem dreidimensionalen (3D-) Stadtmodell auf das Einprägen einer Streckenbeschreibung untersucht. Dafür wurden insgesamt vier Visualisierungen des 3D-Modells realisiert, welche sich aufgrund ihrer Textur und Farbe voneinander unterscheiden. In der Studie mussten sich die Teilnehmenden eine im 3D-Stadtmodell gezeigte Route einprägen und anschliessend Aufgaben lösen, welche die Qualität der Erinnerung an die Routenbeschreibung überprüfen. Die Resultate haben gezeigt, dass ein höherer Realitätsgrad auch effektiver ist: Die Teilnehmenden konnten sich eine Streckenbeschreibung aus einem texturierten 3D-Stadtmodell besser einprägen als aus einem abstrakteren Modell. Dabei gab es kaum Unterschiede, ob das realistischere Modell in Farbe oder schwarzweiss dargestellt war. Umgekehrt verhält es sich mit der Effizienz: Mit einer abstrakteren Visualisierungsart wurden die Aufgaben generell schneller gelöst.

Einen positiven Einfluss auf die Erinnerung haben sogenannte Landmarken (markante Orte). Diese erleichtern die Erinnerung an die Handlung an einem bestimmten Ort (z.B. einer Kreuzung). Der Effekt der Landmarken ist dabei eher unabhängig von deren Darstellung, da selbst in der abstraktesten Visualisierungsart die Landmarken nur aufgrund ihrer geometrischen Form als solche erkannt wurden.

Des Weiteren hat sich herausgestellt, dass die Qualität des räumlichen Orientierungsvermögens generell nicht mit der Qualität der Erinnerung an die Streckenbeschreibung aus dem 3D-Stadtmodell korreliert.

Schlüsselwörter: Realitätsgrad, Textur, Farbe, 3D, Stadtmodell, Landmarken, Erinnerbarkeit, Effektivität, Effizienz, räumliches Orientierungsvermögen

Danksagung

Ein ganz besonderer Dank geht an meine beiden Betreuerinnen Dr. Arzu Çöltekin von der Universität Zürich und Verena Schnitzler von der ETH Zürich, welche mich während der gesamten Masterarbeit stets unterstützt und mit konstruktiven Rückmeldungen beraten haben.

Dankbar bin ich auch all den freiwilligen Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die sich die Zeit genommen haben, für die Pilot- oder Hauptstudie an die Universität Zürich zu kommen.

Ich danke Gianna Hartung und Isabella Kübler für die Unterstützung in technischen und theoretischen Fragen, sowie für die konstruktiven Gespräche zwischendurch.

Insbesondere möchte ich mich bei Sabrina Cervenka und Sandra Ujpétery für das Lesen und Korrigieren meiner Arbeit bedanken.

Ein grosses Dankeschön gilt auch meiner Familie, welche mich nicht nur während dieser Masterarbeit, sondern auch während meiner gesamten Studienzeit in allen Bereichen tatkräftig unterstützt hat.

Herzlichen Dank!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
1. Einführung	1
2. Forschungsfragen	5
3. Theoretischer Hintergrund	7
3.1. Navigation	7
3.2. Einfluss von Landmarken	9
3.3. 3D-Visualisierungen	10
3.4. Realismus vs. Abstraktion	11
3.5. Merkfähigkeit	13
3.6. Einfluss von Farbinformationen	14
3.7. Räumliches Vorstellungsvermögen	15
4. Methodik	17
4.1. Teilnehmende	17
4.2. Materialien	17
4.2.1. Versuchsaufbau	17
4.2.2. Eye-Tracker-System	18
4.2.3. Virtuelle Umgebung	19
4.2.4. Route	21
4.2.5. CL3VER	22
4.2.6. Fragebogen	22
4.2.7. Hauptexperiment	23
4.2.8. Perspective Taking/Spatial Orientation Test	28

4.3. Experimentdesign	30
4.3.1. Unabhängige Variablen	32
4.3.2. Abhängige Variablen	33
4.3.3. Statistik	34
5. Resultate	35
5.1. Teilnehmende	35
5.2. Effektivität (Antwortgenauigkeit)	38
5.3. Effizienz (Antwortzeit)	43
5.4. Räumliches Orientierungsvermögen	45
5.5. Strategie	47
5.6. Zusammenfassung der Resultate	48
6. Diskussion	49
6.1. Forschungsfrage 1	49
6.2. Forschungsfrage 2	53
6.3. Forschungsfrage 3	55
6.4. Forschungsfrage 4	56
6.5. Limitationen	57
7. Schlussfolgerungen und weiterführende Forschung	59
A. Anhang	67
Persönliche Erklärung	107

Abbildungsverzeichnis

3.1.	Die Abbildung gibt eine Übersicht darüber, mit welcher räumlichen Repräsentation die einzelnen Wissensstufen nach Siegel und White (1975) angeeignet werden können. <i>Ground-level 3D rendering</i> entspricht einem virtuellen Stadtmodell (Kettunen et al., 2012).	11
4.1.	Beispiel zweier Strassenkreuzungen im 3D-Stadtmodell, einmal mit (oben) und ohne (unten) Landmarke.	20
4.2.	Die verwendete Route (rot eingezeichnet) auf einer schematischen Strassenkarte des Stadtmodells. Der Startpunkt wurde mit einem «S» markiert.	21
4.3.	Beispiel aus der realistisch-schwarzweissen Variante des 3D-Stadtmodells in CL3VER (2016). Der Pfeil unten [1] zeigt, in welche Richtung die Route nach der Kreuzung weiter verlaufen wird. Mit den beiden Pfeilen rechts [2] gelangt man zum nächsten bzw. vorherigen Kamerapunkt.	24
4.4.	Frage aus der Streckenidentifikationsaufgabe.	25
4.5.	Beispiel einer Frage der Richtungswechselfrage bei der realistisch-farbigen Visualisierungsart.	26
4.6.	Ordnungsaufgabe bei der realistisch-farbigen Darstellungsmethode.	27
4.7.	Wiedererkennungsaufgabe bei der realistisch-farbigen Variante.	27
4.8.	Beispiel einer Aufgabe des <i>Perspective Taking/Spatial Orientation Test</i> . Der gestrichelte Pfeil zeigt die Lösung (Hegarty et al., 2008).	29
4.9.	Ablauf des Experiments. Die Abfolge der Visualisierungen folgt einem <i>Latin-Square</i> . Die Abkürzung «PT/SOT» steht für den <i>Perspective Taking/Spatial Orientation Test</i> (Hegarty et al., 2008).	31
4.10.	Übersicht aller verwendeten Visualisierungsmethoden: Realistisch-farbig (RC), realistisch-schwarzweiss (RnC), abstrakt-farbig (AC), abstrakt-schwarzweiss (AnC).	33
5.1.	Erfahrung in den relevanten Themenbereichen: Die Grafik zeigt die Einteilung der Teilnehmenden in eine der drei Erfahrungsklassen [in %].	36

5.2. Präferenz der Teilnehmenden [in %] für eine Visualisierungsart vor (unten) und nach (oben) dem Experiment.	37
5.3. Prozent korrekter Antworten über alle Aufgabentypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	39
5.4. Prozent korrekter Antworten in der Richtungswechsellaufgabe (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	40
5.5. Prozent korrekter Antworten in der Ordnungsaufgabe (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	40
5.6. Prozent korrekter Antworten über alle Visualisierungstypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	41
5.7. Prozent korrekter Antworten bei Entscheidungspunkten mit (rechts) und ohne (links) Landmarke (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	42
5.8. Antwortzeit [in Millisekunden] über alle Aufgabentypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	44
5.9. Antwortzeit [in Millisekunden] über alle Visualisierungstypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).	45

Tabellenverzeichnis

4.1. Die Tabelle veranschaulicht das Prinzip des <i>Latin-Squares</i> (nach Martin (2008)).	18
5.1. Beschreibende Statistik der Effektivität: Mittlere Genauigkeit (M) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Visualisierungs- bzw. Aufgabentypen [in %].	38
5.2. Beschreibende Statistik der Effektivität bei Entscheidungspunkten mit und ohne Landmarke (Mittlere Genauigkeit (M) und Standardabweichung (SD) [in %]).	42
5.3. Beschreibende Statistik der Effizienz: Mittlere Antwortzeit (M) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Visualisierungs- bzw. Aufgabentypen [in Sekunden].	43
5.4. Anzahl Personen, welche die unterschiedlichen Strategien in der jeweiligen Visualisierungsart angewendet haben: Orientierung an der Gebäudeform, an der Anordnung der Objekte zueinander, Erstellen einer (mentalen) 2D-Karte oder Abzählen der Richtungswechsel.	47

1. Einführung

Navigation ist für uns Menschen unverzichtbar. Täglich bewegen wir uns durch unsere Umwelt; sei es auf einer zuvor geplanten Route von einem Ort zu einem anderen oder sei es in einer (fremden) Stadt, in der wir wieder den Weg zurück zu unserem parkierten Auto finden müssen (Wolbers und Hegarty, 2010). In einer vertrauten Umgebung verläuft der Grossteil der Navigation automatisiert und basiert auf einer gut ausgebildeten mentalen Repräsentation der Realität. Schwieriger wird es aber, wenn wir uns in einer unbekanntem Gegend bewegen, da eine solche Repräsentation dann noch kaum oder gar nicht vorhanden ist. In einem solchen Fall folgt meistens der Griff zur Karte oder man fragt nach dem Weg (Kettunen et al., 2012). Mit der Einführung neuer und der Weiterentwicklung bestehender Technologien hat sich Einiges geändert: Hilfsmittel wie Smartphones, Navigationsgeräte, digitale Karten und vieles mehr sind aus unserer heutigen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Der Gebrauch des Mobiltelefons bietet sich beispielsweise an, wenn man seine aktuelle Position dank der integrierten GPS-Funktion ermitteln will oder wenn man ohne grosse Umwege zu seinem Ziel gelangen möchte. Eine Streckenbeschreibung braucht man sich so gar nicht mehr einzuprägen, da im Zweifelsfall der Griff zum Handy ausreicht. Versagt jedoch die Technologie, so führt dies sogar in einer bekannten Umgebung zu Problemen (Wolbers und Hegarty, 2010).

Befindet man sich nun beispielsweise in einer fremden Stadt, so stünden Papierkarten mit den wichtigsten Sehenswürdigkeiten meist kostenlos zur Verfügung, um die Technologie zu ersetzen. Aber weshalb betrachtet man an einem fremden Ort eine Übersichtskarte, welche diesen aus der Vogelperspektive abbildet, und nicht den Streckenabschnitt zum gewünschten Zielort aus der egozentrischen Perspektive? Studien haben ergeben, dass die Orientierungsleistung nach dem Betrachten einer virtuellen Simulation besser war als nach dem Betrachten einer Karte oder sogar der realen Umgebung (Lloyd et al., 2009). Auch die Arbeit von Doorn und Blokland (2014) zeigt, dass allein durch das Ansehen eines Videos einer Route gut brauchbare räumliche Informationen in guter Qualität erlangt werden

können. Die daraus resultierende mentale Repräsentation ist in ihrer Qualität durchaus vergleichbar mit jener aus der realen Navigation (z.B. Gyselinck et al. (2013); Lloyd et al. (2009); Meijer et al. (2009)) und bildet dadurch eine gute Grundlage für die anschließende Orientierung im Raum (Moffat et al., 2001). Dreidimensionale (3D-) Visualisierungen wie z.B. ein 3D-Stadtmodell eignen sich also durchaus als Vorbereitung auf die Navigation. Denn solche Ansichten ermöglichen es, einen Ort mit einer spezifischen Handlung (z.B. «beim Supermarkt rechts abbiegen») in Verbindung zu bringen, ohne dass man dafür die räumlichen Beziehungen verstehen muss (Wolbers und Hegarty, 2010). Durch solche Referenzpunkte (sogenannte Landmarken) im Raum wird die Navigation positiv beeinflusst (Nys et al., 2015).

Inwiefern die Art und Weise der Darstellung dann einen Einfluss auf das Einprägen einer Routenbeschreibung hat, wurde bislang kaum untersucht (z.B. in Meijer et al. (2009)). Einerseits können Farben die Aufmerksamkeit stark beeinflussen und haben dadurch einen Effekt auf die Erinnerbarkeit einer Abbildung (Dzulkifli und Mustafar, 2013). Andererseits beeinflusst der Realitätsgrad die Leistung in verschiedenen Aufgaben: Man glaubt, mit einem höheren Realitätsgrad auch bessere Resultate zu erzielen, was aber nicht immer zutrifft. Dieses Phänomen wird als *naiver Realismus* bezeichnet (Smallman und Cook, 2011). Wird das Einprägen einer Routenbeschreibung also effektiver und effizienter, wenn man den Abstraktionsgrad erhöht? Denn selbst in einer fast eigenschaftslosen Umgebung können Personen kleine Unterschiede wahrnehmen und diese als Anhaltspunkte zur Orientierung verwenden (Kamachi et al., 2009). Oder sie verwenden eine andere Strategie und achten eher auf die Geometrie als auf sonstige (visuelle) Eigenschaften der Umgebung (Wolbers und Hegarty, 2010). Welche Form der Darstellung würde sich somit für die Aufgabe, sich aus einem 3D-Stadtmodell eine Streckenbeschreibung einzuprägen, am besten eignen? Können dann von einer Darstellungsart eher Personen mit einem guten räumlichen Orientierungsvermögen (nach Huk (2006) die «Fähigkeitsverstärkende Hypothese» (engl.: *ability-as-enhancer hypothesis*)) oder solche mit einem eher schlechteren Orientierungsvermögen profitieren («Fähigkeitsergänzende Hypothese» (engl.: *ability-as-compensator hypothesis*) nach Huk (2006))?

Um diese Fragen beantworten zu können, wird in dieser Arbeit eine Studie mit einem 3D-Stadtmodell durchgeführt. Dabei wird die Darstellung des virtuellen Modells variiert, indem die Texturen und Farben jeweils entfernt bzw. beibehalten werden, woraus also vier unterschiedliche Visualisierungsarten resultieren. Anhand der Effektivität bzw. Effizienz werden die jeweiligen Darstellungsmethoden miteinander verglichen.

Die vorliegende Arbeit ist wie folgt aufgebaut: Im nachfolgenden Kapitel 2 werden die Forschungsfragen aufgezeigt, die mit der Studie beantwortet werden sollten. In Kapitel 3 wird dann eine Übersicht über den aktuellen Forschungsstand in den relevanten Themengebieten vermittelt. Die Methodik zum Experiment, das die Forschungsfragen beantworten soll, wird in Kapitel 4 erläutert. Das Kapitel 5 beinhaltet dann die aus dem Experiment gewonnenen Resultate, welche in Kapitel 6 diskutiert werden. Eine Zusammenfassung der Untersuchung ist in Kapitel 7 zu finden. Alle verwendeten Unterlagen und Einstellungen sind im Anhang aufgeführt.

2. Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen bilden den Rahmen dieser Arbeit und sollen in der dazugehörigen Studie genauer untersucht werden. Die einzelnen Fragen leiten sich aus der folgenden Hauptfrage ab:

Wie beeinflussen die Farbe und die Textur eines dreidimensionalen (3D) Stadtmodells die Effektivität und Effizienz in der Aufgabe, sich eine Routenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell einzuprägen?

Forschungsfrage 1

Führt ein höherer Realitätsgrad zu einer signifikant höheren Effektivität (Anzahl korrekter Antworten im Vergleich zu allen Antworten) bei der Aufgabe, sich eine Routenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell zu merken?

Forschungsfrage 2

Führt ein höherer Realitätsgrad zu einer signifikant höheren Effizienz (benötigte Zeit zur Beantwortung der gestellten Fragen) bei der Aufgabe, sich eine Routenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell zu merken?

Forschungsfrage 3

Führen markante Orte (Landmarken) zu signifikant weniger Fehlern an Entscheidungspunkten?

Forschungsfrage 4

Existiert ein Unterschied in der Leistung von Personen mit einem hohen bzw. tiefen räumlichen Orientierungsvermögen bei den verschiedenen Visualisierungsarten?

3. Theoretischer Hintergrund

3.1. Navigation

Gemäss Montello (2005) kann die Navigation als die koordinierte und zielgerichtete Bewegung durch unsere Umwelt verstanden werden. Der Begriff beinhaltet neben der Bewegung selbst auch das Planen einer Route von einem Ort zu einem anderen bzw. die Entscheidungsfindung an Punkten wie beispielsweise einer Kreuzung (Montello, 2005). Während unserer Fortbewegung im Raum extrahieren wir die vorhandenen Informationen wie z.B. den Strassenverlauf, die Häuser oder Wahrzeichen und bilden daraus eine mentale Repräsentation (Darken et al., 1998). Aber nicht nur durch die eigentliche Bewegung in der Realität, sondern auch über Abbildungen, wie beispielsweise eine Karte, gewinnen wir Kenntnis über unsere Umwelt, das sogenannte *räumliche Wissen* (engl.: *spatial knowledge*). Die so erhaltenen mentalen Repräsentationen bestehen aus einer Vielzahl an Informationen, wie z.B. dem Aussehen von Landmarken, deren Position relativ zueinander oder einer mentalen Übersichtskarte (Gyselinck et al., 2013). Die Entscheidungen und Strategien, wie wir uns im Raum fortbewegen, basieren auf diesen Informationen (Kettunen et al., 2012). Da es sich hierbei aber nie um eine exakte Kopie der Realität handelt, können wir uns nicht komplett darauf abstützen (Doorn und Blokland, 2014). Beispielsweise ist die mentale Abbildung insbesondere zu Beginn in einer unbekanntem Umgebung noch verzerrt, was zu Fehlern in der realen Navigation führt, wodurch man z.B. eine Kreuzung zu früh abbiegt (Darken et al., 1998). Aus diesem Grund müssen wir uns anhand der aktuellen Umgebung immer wieder neu orientieren. Verschiedene Eigenschaften helfen uns dabei, zu entscheiden, ob wir noch auf der korrekten Strecke sind bzw. wo wir uns genau auf einem Streckenabschnitt befinden (Hirtle und Hudson, 1991). Dies wird auch als *räumliches Aktualisieren* (engl.: *spatial updating*) bezeichnet (Kettunen et al., 2012). Insbesondere Landmarken (siehe Kapitel 3.2) können uns dabei wesentlich unterstützen (Nys et al., 2015).

Gemäss Siegel und White (1975) kann die Akquisition von räumlichem Wissen in folgende Stufen unterteilt werden. Jede Stufe dient dabei als Basis zur Erreichung der nächsthöheren Stufe (Kettunen et al., 2012):

- Landmarkenwissen (engl.: *landmark knowledge*): Gemäss Siegel und White (1975) handelt es sich hierbei um die erste Stufe des räumlichen Wissens, das man in einer unbekanntem Umgebung erlangt. Damit erkennt man lediglich einen Ort wieder, es basiert also eher auf der visuellen Wiedererkennungsfähigkeit (Kettunen et al., 2012). Diese Stufe zählt zu den Minimalanforderungen für eine erfolgreiche Navigation (Van Asselen et al., 2006).
- Routenwissen (engl.: *route knowledge*): Hierbei handelt es sich um eine mentale Repräsentation aus der egozentrischen Perspektive (Meijer et al., 2009). Bei diesem Kenntnisstand von unserer Umgebung ist bekannt, dass ein bestimmter Ort (beispielsweise ein markantes Gebäude) entlang einer Route existiert und wann dieser vorkommt. Weitere Beziehungen im Raum sind jedoch noch nicht bekannt (Hirtle und Hudson, 1991). Auf dieser Stufe ist eine einfache Navigation bereits möglich, nämlich jene von einem bestimmten Ort zu einem anderen (Kettunen et al., 2012).
- Überblickswissen (engl.: *configurational knowledge* oder *survey knowledge*): Diese Stufe bildet die Umgebung nicht mehr aus der egozentrischen, sondern aus der allozentrischen, d.h. der Vogelperspektive ab (Pazzaglia und De Beni, 2006) und ist somit die strukturierteste aller räumlichen Wissensstufen (Kettunen et al., 2012). Die räumlichen Beziehungen von Orten sind nun bekannt, wodurch es möglich ist, neben den bekannten Routen auch neue zu finden, beispielsweise in der Form von Abkürzungen (Nys et al., 2015). Das Übersichtswissen bildet sich erst nach mehrmaligem Erlernen einer zuerst unbekanntem Umgebung, d.h. sobald eine Person genügend Routenwissen aufgebaut hat und dieses zusammensetzen kann (Kettunen et al., 2012). Es bedarf also eines grösseren kognitiven Aufwands, um das Übersichtswissen aufzubauen, im Vergleich zum Erwerb von Routenwissen (Van Asselen et al., 2006).

Der Aufbau des räumlichen Wissens erfolgt dabei meist stufenweise, beginnend mit dem Landmarkenwissen, gefolgt vom Routenwissen; sobald dieses genügend ausgeprägt ist, entsteht daraus das Überblickswissen (Hirtle und Hudson (1991); Nys et al. (2015); Schmidt et al. (2012)). Je nachdem, wie man eine (neue) Umgebung erlernt hat (z.B. durch das Betrachten einer Übersichtskarte), eignet man sich allerdings das Routenwissen oder gar

das Überblickswissen zuerst an (Hirtle und Hudson, 1991). Kettunen et al. (2012) teilen diese Meinung: Durch die Navigation in der realen Umgebung wird hauptsächlich das Routenwissen aufgebaut und beim Betrachten einer Übersichtskarte (was oftmals der erste Schritt beim Erlernen einer unbekanntem Umgebung ist) das Überblickswissen (Kettunen et al., 2012). Es kann also durchaus sein, dass der Aufbau des räumlichen Wissens nicht immer dem Modell von Siegel und White (1975) folgt.

Navigation lässt sich somit als ein Prozess definieren, in dem man seine Position stets anhand von Elementen in seiner Umgebung bestimmt bzw. überprüft und mit den vorhandenen Informationen zu anderen Orten gelangen kann (Schmidt et al., 2012). Das räumliche Wissen wird dabei meist nach und nach aufgebaut (Hirtle und Hudson, 1991).

3.2. Einfluss von Landmarken

Richter und Winter (2014) definieren Landmarken als geographische Objekte, welche die mentale Repräsentation des Raumes strukturieren. Sie dienen als Referenzpunkte für die Orientierung und Navigation. Eine der wichtigsten Eigenschaften von Landmarken ist, dass sie sich von der Umgebung abheben und somit gut erkennbar sind (Richter und Winter, 2014). Eine ähnliche Definition geben Nys et al. (2015): Sie definieren die Landmarke als eine visuelle Entität, welche sich aufgrund ihrer Eigenschaften (wie z.B. Form, Struktur etc.) und aufgrund ihrer soziokulturellen oder symbolischen Funktion von ihrer Umgebung abhebt (Nys et al., 2015). Es kann sich also um bekannte Gebäude handeln (z.B. Monumente oder Wahrzeichen) oder um solche, die von öffentlichem Interesse sind (Döllner, 2007). Aber auch kleine Details können bereits die Funktion einer Landmarke übernehmen, beispielsweise speziell geformte Türklinken (Kettunen et al., 2012).

Es hat sich gezeigt, dass die Existenz solcher Landmarken die Navigation positiv beeinflusst (Nys et al., 2015), insbesondere an Entscheidungspunkten wie z.B. einer Kreuzung (Kettunen et al., 2012) oder in einer komplexen, städtischen Umgebung (Döllner, 2007). Auch bei einer mündlichen Wegbeschreibung helfen Landmarken, um eine möglichst effektive Beschreibung abgeben zu können. Beispielsweise ist «Beim Supermarkt rechts abbiegen» eine effizientere Art und Weise der Kommunikation als «Bei der dritten Kreuzung rechts abbiegen». Existieren keine oder nur sehr wenige solche Referenzpunkte, so orientiert man sich an der Struktur eines Netzwerks und beginnt beispielsweise abzuzählen, wann man wie abbiegen müsste (Richter und Winter, 2014).

Die erfolgreiche Navigation hängt also nicht nur von Landmarken ab, kann aber durch deren Existenz wesentlich erleichtert werden (Nys et al., 2015), was in der vorliegenden Studie nochmals überprüft wird.

3.3. 3D-Visualisierungen

Dreidimensionale (3D-) Visualisierungen zeigen eine Umgebung aus der egozentrischen Perspektive und ermöglichen so die Sicht auf die vertikalen Eigenschaften eines Objekts, z.B. die Fassade von Landmarken. Zweidimensionale (2D-) Abbildungen (z.B. Karten) hingegen zeigen den Raum aus der allozentrischen Perspektive, woraus man euklidische Informationen erhält (Van Asselen et al., 2006). Viele Nutzer ziehen eine 3D- einer 2D-Darstellung vor, was in der Fachliteratur als *naive Kartographie* bezeichnet wird (Hegarty et al., 2009). Ob sich nun eine 2D- oder 3D-Abbildung besser eignet, ist einerseits von der persönlichen Präferenz abhängig und andererseits von der Aufgabe, die es zu lösen gilt. Gemäss Kettunen et al. (2012) eignen sich 2D-Karten für die Akquisition von Überblickswissen, jedoch weniger für Landmarkenwissen. Umgekehrt können 3D-Visualisierungen oder auch perspektivische Ansichten (wie z.B. Google StreetView (2016)) den Erwerb des Landmarkenwissens erleichtern, da sie die vertikalen Eigenschaften eines Objekts zeigen. Um aber aus einer 3D-Abbildung das Überblickswissen zu erlangen, ist die Fortbewegung in der virtuellen Umgebung notwendig, was zeitintensiv und umständlich sein kann (Kettunen et al., 2012). Abbildung 3.1 gibt eine Übersicht darüber, in welchem Umfang das räumliche Wissen in den einzelnen Darstellungsarten angeeignet werden kann.

Im Vergleich zu den Dächern liefern die Seiten eines Gebäudes üblicherweise mehr charakteristische Informationen. Somit dürften Betrachter letztendlich auch während der Navigation von 3D-Darstellungen profitieren, da sie z.B. die Stadt auch im Modell aus der Fussgängerperspektive sehen. 3D-Stadtmodelle könnten dadurch beispielsweise als Touristeninformationssysteme eingesetzt werden (Döllner, 2007). Ein wesentlicher Nachteil von 3D-Ansichten ist aber, dass sie die Sicht komprimieren. Distanzen werden dadurch eher unterschätzt (Smallman und Cook, 2011), was zu Verzerrungen in der mentalen Repräsentation führen kann (Darken et al., 1998).

Die Wahl zwischen 2D und 3D hängt aber nicht nur von der zu lösenden Aufgabe ab, auch der zeitliche Aspekt darf nicht unbeachtet bleiben. Mit 3D-Karten sind die Betrachter generell langsamer als mit 2D-Darstellungen. Erstere eignen sich eher, wenn man

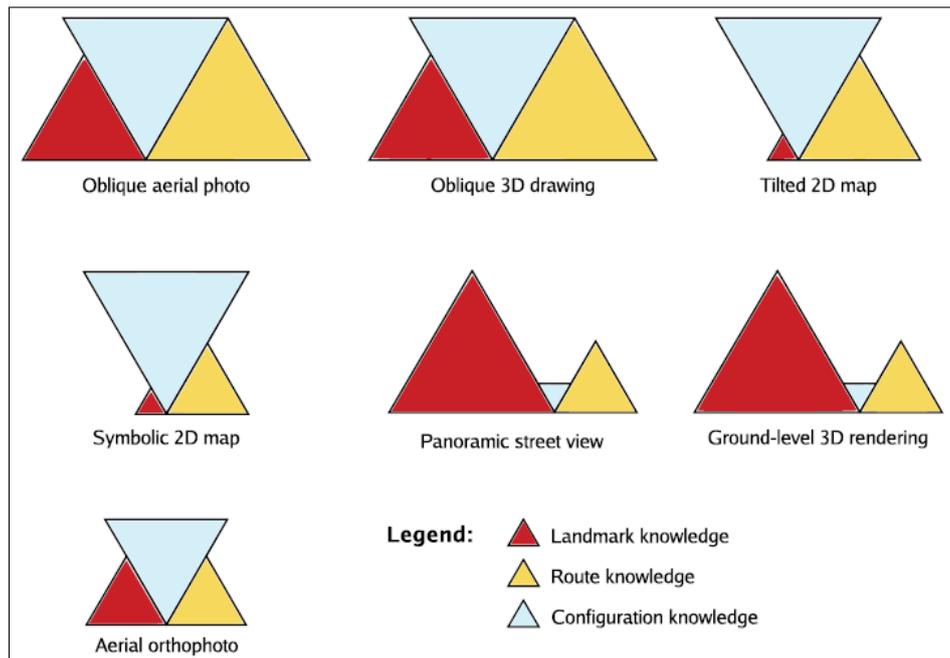


Abbildung 3.1.: Die Abbildung gibt eine Übersicht darüber, mit welcher räumlichen Repräsentation die einzelnen Wissensstufen nach Siegel und White (1975) angeeignet werden können. *Ground-level 3D rendering* entspricht einem virtuellen Stadtmodell (Kettunen et al., 2012).

mehr Zeit für die Navigation zur Verfügung hat und weniger unter Zeitdruck steht (Wilkening und Fabrikant, 2011b). Auch gemäss Kettunen et al. (2012) handelt es sich bei 3D-Darstellungen um eine zeitintensive Art und Weise, sich räumliches Wissen anzueignen.

3D-Visualisierungen bieten also die Möglichkeit, viele Fassadenelemente von Objekten darzustellen. Gerade diese Informationen sind für die tägliche Fortbewegung oder das Erlernen einer Route zentral, da wir unsere Umwelt stets aus der egozentrischen Perspektive sehen. Anhand solcher vertikalen Eigenschaften erkennen wir einen Ort wieder und entscheiden so, ob wir uns noch auf der korrekten Strecke befinden oder nicht.

3.4. Realismus vs. Abstraktion

Lange Zeit war es kaum möglich, qualitativ hochwertige visuell gerenderte Umgebungen zu erstellen (Slater et al., 2009). Denn um mit fotorealistischen Texturen ein beeindruckendes Resultat zu erzeugen, bedarf es eines Mindestmasses an geometrischen und grafischen

Details. Beispielsweise sind nicht hoch aufgelöste Fassadentexturen in einem dreidimensionalen Stadtmodell für die Betrachter nicht überzeugend (Döllner, 2007). Die immer schneller werdende Technologie hingegen erlaubt es nun, solche realitätsnahen virtuellen Umgebungen zu erstellen. Heute stellt sich somit eher die Frage, ob man den Aufwand für eine realistische und komplexe Darstellung betreiben soll (Smallman und Cook (2011); Meijer et al. (2009)).

Der Begriff *visueller Realismus* beschreibt die Ähnlichkeit einer Abbildung zur realen Welt (Kettunen et al., 2012). Gemäss Smallman und Cook (2011) liegt es derzeit im Trend, möglichst alles im Goldstandard Fotorealismus darzustellen. Denn solche Visualisierungen werden von den Nutzern als attraktiv und leicht verständlich wahrgenommen, da sie sehr ähnlich zur Realität sind. Ausserdem werden sie als eine exakte und komplette Abbildung betrachtet, da keinerlei Informationen entfernt wurden (Smallman und Cook, 2011). Das Verlangen nach einem möglichst hohen Realitätsgrad geht teilweise schon so weit, dass die Betrachter sich Elemente wie Strassenschilder, den Verkehr oder sogar Stromleitungen in einer virtuellen Umgebung wünschen (Kettunen et al., 2012). Nutzer und Designer glauben gleichermassen, dass die intuitive Darstellung den Interpretationsaufwand minimiere (Smallman und Cook, 2011). Auch Kettunen et al. (2012) sind der Ansicht, dass durch einen hohen Realitätsgrad der Interpretationsaufwand verringert wird, die relevanten Elemente dann aber erst noch extrahiert werden müssen (Kettunen et al., 2012). Werden nicht notwendige Informationen weggelassen, so kann die Leistung der Nutzer erhöht werden, auch wenn sie der Meinung sind, mit einer realistischeren Darstellung in einer Aufgabe ein besseres Ergebnis zu erzielen. Dieser Glaube, dass man mit einer realitätsnahen Abbildung auch eine bessere Leistung erziele, wird in der Fachliteratur als *naiver Realismus* bezeichnet. Denn das menschliche Gehirn kann nicht alle verfügbaren Informationen verarbeiten und daraus eine komplette und exakte mentale Repräsentation der Wirklichkeit erstellen (Smallman und Cook, 2011). Das Vereinfachen der zu übermittelnden Information gehört zu einer erfolgreichen Kommunikation (Bertin, 1983). Diese Ansicht teilt auch Döllner (2007): Nicht-fotorealistische Visualisierungen erlauben es, nur aufgabenrelevante Informationen zu präsentieren. So wird in abstrakten Darstellungen beispielsweise die Anzahl der verwendeten Farben bewusst reduziert, wodurch nur noch Informationen angezeigt werden, die für eine Aufgabe notwendig sind. Dadurch seien die Abbildungen viel effektiver im Vergleich zur fotorealistischen Variante, welche für bestimmte Aufgaben oftmals eher ungeeignet sei (Döllner, 2007). Dies widerspricht aber den Erkenntnissen aus der Studie von Meijer et al. (2009). Bei dieser mussten sich die

Teilnehmenden auf einer vordefinierten Route durch einen Supermarkt bewegen; die eine Gruppe in der fotorealistischen und die andere in der nicht-fotorealistischen Variante. Der visuelle Realismus führte letztendlich zu einem grösseren Routen- bzw. Überblickswissen (Meijer et al., 2009).

Realistische Darstellungen sind somit nicht grundsätzlich schlecht (Smallman und Cook, 2011). In der Arbeit von Borkin et al. (2013) hat sich beispielsweise herausgestellt, dass Visualisierungen, die naturnah sind, zu einer höheren Erinnerbarkeit führen als andere. In manchen Fällen eignet sich also eine abstraktere Visualisierung, während in anderen eine realistische Abbildung besser passt (Smallman und Cook, 2011). Ein Modell könnte auch eine Kombination von abstrakten und realitätsnahen Abbildungen enthalten, sodass beispielsweise Objekte in einer virtuellen Umgebung an Entscheidungspunkten wie Kreuzungen realistisch sind, während der Rest eher abstrakt dargestellt wird (Kettunen et al., 2012). In der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht werden, wie sich der Realitätsgrad eines 3D-Stadtmodells auf das Einprägen einer Streckenbeschreibung auswirkt.

3.5. Merkfähigkeit

In dieser Studie mussten sich die Teilnehmenden eine Routenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell einprägen und anschliessend Aufgaben lösen, welche die Qualität der Erinnerung an die Strecke prüfen. Gemäss Baddeley (1992) kommt beim Lernen das Arbeitsgedächtnis (engl.: *working memory*) zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um einen Teil des Gehirns, welcher die aufgenommenen Informationen temporär speichert (Baddeley, 1992). Die Menge, die wir uns merken können, ist jedoch beschränkt. Erhält der Betrachter zu viele Informationen, so stösst er irgendwann an seine Grenzen und die Fehleranfälligkeit nimmt zu. Wo diese Kapazitätsgrenze genau liegt, hängt neben der individuellen Fähigkeit auch von der vermittelten Information ab. So können wir uns beispielsweise viele verschiedene Gesichter merken und diese wiedererkennen, aber nur eine stark begrenzte Anzahl an Zahlenkombinationen (z.B. Telefonnummern) (Miller, 1956). Gemäss Miller (1956) hängt dies mit der Dimension der Information zusammen: Gesichter unterscheiden sich untereinander in vielen Aspekten, während sich Zahlen nur geringfügig unterscheiden. Der von Miller (1956) eingeführte Begriff der «magischen Zahl Sieben» beschreibt, dass man sich in eindimensionalen Fällen etwa sieben Elemente merken kann. Diese Zahl diente unter anderem als Orientierung für die Entscheidung, wie viele Richtungswechsel die Route im Experiment haben sollte (siehe Kapitel 4.2.4).

Eine weitere wesentliche Rolle, wie gut wir uns Informationen einprägen können, spielt die dafür aufgebrachte Aufmerksamkeit. Die Aufmerksamkeit ist definiert als ein Prozess, aus einer Menge an Informationen gewisse zu selektieren und weiterzuverarbeiten. Informationen, denen wir unsere Aufmerksamkeit schenken, können wir uns besser einprägen als solche, welche wir nur oberflächlich betrachten oder gänzlich ignoriert haben. Farben haben beispielsweise den Effekt, unser Aufmerksamkeitslevel zu erhöhen (siehe Kapitel 3.6) (Dzulkifli und Mustafar, 2013). Aber nicht nur Farben erhöhen die Erinnerbarkeit von Visualisierungen, sondern auch Objekte, die man benennen bzw. denen man eine Bedeutung zuweisen kann. Ebenso hat sich gezeigt, dass sich abgebildete Personen positiv auf die Erinnerung an Abbildungen auswirken (Borkin et al., 2013). Ob sich nun ein höherer Abstraktionsgrad (in dem den Objekten kaum mehr eine Bedeutung zugewiesen werden kann) negativ auf das Einprägen einer Routenbeschreibung auswirkt, soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

3.6. Einfluss von Farbinformationen

Das menschliche Gehirn wird mit einer riesigen Menge an Informationen konfrontiert. Bereits unser visuelles System wählt davon einen kleinen Teil für die weitere Verarbeitung aus, während der Rest nur oberflächlich analysiert wird. Attribute wie Farbe, Orientierung und Grösse können dabei effizient die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Ziel lenken (Wolfe und Horowitz, 2004); insbesondere das Attribut Farbe, das generell als eine hoch auffällige visuelle Oberflächeneigenschaft betrachtet wird (Wichmann et al., 2002). Denn durch den Farbton, die Sättigung und den Helligkeitswert heben sich Objekte in unterschiedlichem Masse von ihrer Umgebung ab (Schmidt et al., 2012). Die einzelnen Farbtöne haben dabei einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Aufmerksamkeit: Warme Farben wie Gelb, Rot oder Orange wirken sich stärker aus als kalte Farben wie z.B. Grau oder Braun. Ein grösserer Kontrast sorgt zusätzlich für eine bessere Sichtbarkeit eines Objekts, was wiederum zu einer erhöhten Aufmerksamkeit führt (Dzulkifli und Mustafar, 2013).

Dass Farben die Aufmerksamkeit erhöhen und damit die Erinnerbarkeit einer Abbildung verbessern können (Dzulkifli und Mustafar, 2013), hat sich auch in der Studie von Wichmann et al. (2002) gezeigt. In dieser Studie mussten die Teilnehmenden zuvor gezeigte Fotos wiedererkennen. Es stellte sich heraus, dass die Freiwilligen die farbigen Bilder öfter wiedererkannten als Schwarz-Weiss-Abbildungen. Wichmann et al. (2002) erklärten die

Resultate damit, dass die Farbinformation hilft, den gezeigten Objekten eine semantische Bedeutung zuzuweisen, wodurch die Objekte wiederum stärker im Gedächtnis verankert werden können (Wichmann et al., 2002). In der Studie von Borkin et al. (2013) hat sich dies ebenfalls bestätigt. Dennoch weisen Borkin et al. (2013) darauf hin, dass mehr Farben nicht automatisch zu einer besseren Erinnerbarkeit führen. Denn es gilt auch zu beachten, dass die Visualisierung die Daten so klar wie möglich kommunizieren und nicht mit unnötigen Informationen überladen soll (Borkin et al., 2013). Dies spräche beispielsweise für eine möglichst abstrakte Darstellung der Umgebung, was es in dieser Arbeit zu untersuchen gilt.

3.7. Räumliches Vorstellungsvermögen

Jeder von uns kennt Personen, welche über einen ausgezeichneten Orientierungssinn verfügen, während andere sich schnell im Raum verlieren (Wolbers und Hegarty, 2010). Wie gut wir uns im Raum orientieren können, hängt von der Qualität unseres räumlichen Vorstellungsvermögens ab (Wang et al., 2007), welches wiederum genetisch oder durch Erfahrung mit Orientierungsaufgaben bedingt sein kann (Wolbers und Hegarty, 2010). Es beschreibt die Fähigkeit, abstrakte Bilder zu generieren, zu behalten und zu verändern. Des Weiteren hat es einen Einfluss auf die Qualität der mentalen Repräsentation unserer Umwelt, welche entweder durch die reale Navigation oder durch eine virtuelle Umgebung aufgebaut werden kann (Gyselinck et al. (2013); Moffat et al. (2001)). Personen mit gutem räumlichem Vorstellungsvermögen fällt es leichter, die höheren Stufen des räumlichen Wissens (Routenwissen, Überblickswissen) zu erwerben, als jenen mit einem schlechteren Vorstellungsvermögen, welche sich vermehrt auf die visuellen Eigenschaften von Objekten stützen und somit eher Landmarkenwissen aufbauen (Pazzaglia und De Beni, 2006). Dies äussert sich auch in der realen Navigation: Verfügt eine Person über ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen, so benötigt sie weniger Anhaltspunkte, um die Orientierung zu behalten, bzw. sie kann sich an der vorhandenen Geometrie oder den Objekten (wie z.B. Landmarken) schneller neu orientieren (Wolbers und Hegarty, 2010). Dies spräche dafür, dass Personen mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen mit einer abstrakteren Darstellung besser zurechtkämen als andere, was es in dieser Studie zu untersuchen gilt. Ausserdem können gemäss Huk (2006) solche Personen eher von 3D-Abbildungen profitieren, wie sie in einer virtuellen Umgebung vorkommen, da sie dadurch kognitiv nicht überfordert werden (Huk, 2006).

Zur Quantifizierung des räumlichen Vorstellungsvermögens existieren verschiedene, standardisierte Tests. Die Fähigkeit, ein Objekt mental zu rotieren (auch *Objektmanipulation* genannt), wird beispielsweise mit dem *Mental Rotation Test* von Vandenberg und Kuse (1978) eingeschätzt. Sich ein Objekt aus einer anderen Perspektive vorzustellen, beschreibt nicht dieselbe Fähigkeit (sondern wird auch als *räumliche Orientierung* definiert) und kann mit dem *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* quantifiziert werden (Kozhevnikov und Hegarty (2001); Hegarty und Waller (2004)). Es hat sich gezeigt, dass sich die Fähigkeiten zwischen den Geschlechtern stark unterscheiden. Männer sind den Frauen im *Mental Rotation Test* (Vandenberg und Kuse, 1978) oftmals überlegen (Gyselinck et al. (2013); Pazzaglia und De Beni (2006)). Auch in der Studie von Moffat et al. (2001) hat sich gezeigt, dass Männer eine Navigationsaufgabe in einem Labyrinth schneller lösten als Frauen. Dies könnte beispielsweise mit den traditionellen Geschlechterrollen erklärt werden (Wilkening und Fabrikant, 2011). Neben dem Geschlecht hat auch das Alter einen Einfluss, wie sich ebenfalls in der Studie von Moffat et al. (2001) gezeigt hat: Jüngere Teilnehmerinnen und Teilnehmer (< 45 Jahre) erreichten das Ziel schneller als ältere (> 65 Jahre) (Moffat et al., 2001).

4. Methodik

4.1. Teilnehmende

Zur Beantwortung der Forschungsfragen (siehe Kapitel 2) wurde eine Studie im Eye-Movement Labor des Geographischen Instituts an der Universität Zürich (GIUZ) durchgeführt. Dafür wurden im persönlichen Umfeld freiwillige Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Alter zwischen 20 und 30 Jahren gesucht, die bereit waren, für maximal eine Stunde an der Studie teilzunehmen. Insgesamt erklärten sich 33 Personen (19 weiblich, 14 männlich) dazu bereit, wobei es sich hauptsächlich um Studierende oder bereits berufstätige Studienabgängerinnen und Studienabgänger mit einem mittleren Alter von 25.09 Jahren ($SD = 1.38$) handelte.

4.2. Materialien

4.2.1. Versuchsaufbau

Die Studie wurde im Eye-Movement Labor des Geographischen Instituts der Universität Zürich durchgeführt. Darin befindet sich ein Computer, der mit dem Eye-Movement-System gekoppelt ist. Auf diesem Computer wurde die virtuelle Umgebung über die Plattform CL3VER (2016; siehe Kapitel 4.2.5) aufgeschaltet. Ein solcher Versuchsaufbau ist gemäss Lloyd et al. (2009) ein nützliches Werkzeug, um das Lernverhalten bei Wegbeschreibungen zu untersuchen. Ein Acer-Aspire-Laptop wurde zudem einerseits für den Vor- und Abschlussfragebogen (siehe Abschnitt 4.2.6) verwendet, und andererseits konnten darüber die Abläufe am Eye-Movement-Computer mit Hilfe von TeamViewer (2016) gesteuert werden. Für die Erfassung des räumlichen Orientierungsvermögens wurde der *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* (Hegarty et al., 2008) auf Papier verwendet.

4.2.2. Eye-Tracker-System

Beim Eye-Tracking-System handelt es sich um ein Tobii TX300 (2016) mit einer Datenrate von 300 Hz und einer Genauigkeit von 0.4 Grad. Das System ist mit einem auf Windows 7 basierenden Computer gekoppelt sowie mit einem Bildschirm mit einer Bilddiagonalen von 23 Zoll und einer maximalen Auflösung von 1920 x 1080 Pixel ausgestattet. Für die Studie wurde die Auflösung jedoch auf 1280 x 800 Pixel reduziert, um das Datenvolumen zu verringern.

Betrieben wird das Eye-Tracking-System mit der eigens dafür entwickelten Software Tobii Studio (2016). Die Software speichert verschiedene URLs in chronologischer Reihenfolge ab und ruft diese während der Aufnahme auf, sobald eine vordefinierte Zeit abgelaufen ist oder eine bestimmte Taste gedrückt wird. Die Reihenfolge folgt dabei einem sogenannten *Latin-Square* (siehe Tabelle 4.1). Ein solches Schema wird verwendet, um den Ablauf in einem Experiment auszugleichen. Jedes Element erscheint somit gleich häufig an jeder Position (Martin, 2008). In der Tabelle 4.1 beginnt Person 1 beispielsweise mit dem Visualisierungstyp A, während Person 2 mit dem Typ B beginnt etc. Bei vier Visualisierungstypen beginnt die Abfolge ab Person 5 wieder von vorne. Diese Abfolge konnte mittels einer TXT-Datei in Tobii Studio (2016) einprogrammiert werden (siehe Anhang). Für jede aufgerufene URL registriert das System dann die Augenbewegungen, die Verweildauer pro URL sowie die getätigten Klicks mit der Maus. Damit lässt sich also untersuchen, wie viel Zeit die Teilnehmenden pro Frage benötigen, auf welche Elemente sie in einem Bild achten oder wie oft sie die eingegebene Antwort ändern.

Tabelle 4.1.: Die Tabelle veranschaulicht das Prinzip des *Latin-Squares* (nach Martin (2008)).

	Präsentationsabfolge			
	Erste	Zweite	Dritte	Vierte
Person 1	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Person 2	Typ B	Typ C	Typ D	Typ A
Person 3	Typ C	Typ D	Typ A	Typ B
Person 4	Typ D	Typ A	Typ B	Typ C
Person 5	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D

4.2.3. Virtuelle Umgebung

Für die Studie wurde mit Hilfe von ESRI CityEngine 2014 (ESRI, 2016) eine virtuelle Umgebung erstellt. Die Vorteile einer solchen Umgebung liegen beispielsweise darin, dass sich ihre Eigenschaften einfach und effizient verändern lassen. So kann die Stadtstruktur beliebig verändert oder Landmarken können an bestimmten Orten hinzugefügt werden (Nys et al., 2015). Ein weiterer Vorteil ist, dass die Teilnehmenden nicht mit der gezeigten Umgebung vertraut sind. Anhand solcher kontrolliert aufgebauter und konsistenter virtueller Umgebungen kann das Navigationsverhalten untersucht werden (Lloyd et al., 2009). Ein Nachteil hingegen ist, dass die eigentliche Bewegung im Raum fehlt. Virtuelle Umgebungen ermöglichen also nur die Untersuchung der visuellen Komponente, nicht aber die Einflüsse auf die Navigation, die durch die Bewegung verursacht werden (Moffat et al., 2001). Dieser Nachteil ist jedoch nicht von Belang, da in dieser Studie nur der Einfluss verschiedener Visualisierungsarten untersucht wird und nicht die Navigation allgemein.

Als Basis wurde ein Kartenausschnitt aus OpenStreetMap (OSM, 2016) verwendet, um so einen möglichst realen Strassenverlauf bzw. eine logische Gebäudeanordnung in der virtuellen Umgebung zu erreichen. Dieser Datensatz konnte dann in ESRI CityEngine 2014 (ESRI, 2016) importiert und bereinigt werden.

Die Texturen für die Gebäude stammen von Textures.com (Textures, 2016) und sind in solche für Erd- und Obergeschosse unterteilt. Diese wurden anschliessend mit Adobe Photoshop CS6 (Adobe, 2016) manuell aufbereitet und jeweils in folgende Klassen eingeordnet: Altbau, Bürogebäude, Füllergebäude, Industriebau, öffentliches Bauwerk und Wohnblock. Durch diese Klassifikation konnten die Erd- mit den Obergeschossen logisch kombiniert werden, sodass beispielsweise die Obergeschosstextur eines Altbaus nicht mit der Erdgeschosstextur eines Bürogebäudes zusammengesetzt wurde. Insgesamt resultierten so über 300 verschiedene Gebäude, die in der virtuellen Umgebung verteilt werden konnten.

Bei den sogenannten Füllergebäuden handelt es sich um Gebäude, die keine markanten Farben oder Fassadenelemente aufweisen und lediglich dazu dienen, Lücken im Stadtmodell auszufüllen. Gemäss Dzulkifli und Mustafar (2013) haben kalte Farben wie Braun oder Grau einen geringeren Effekt auf die Aufmerksamkeit als warme Farben wie Gelb, Rot oder Orange. Gräuliche Gebäudetexturen wurden somit vermehrt als Füllergebäude klassiert, während andere Texturen mit warmen Farben eher für Gebäude an Kreuzungen

verwendet wurden (Entscheidungsgebäude), da so der Effekt der Farben bzw. Fassadenelemente auf die Entscheidungsfindung untersucht werden konnte (insbesondere in der Richtungswechsellaufgabe, siehe Kapitel 4.2.7). Neben den Füller- und Entscheidungsgebäuden wurden zudem zwei Landmarken an Entscheidungspunkten eingebaut (wie auch in Moffat et al. (2001)). Hirtle und Hudson (1991) verwendeten in ihrer Studie beispielsweise eine Polizeistation oder ein Postgebäude als Landmarken entlang der Route. In dieser Studie wurden ein Supermarkt mit der Aufschrift «Supermarket» und ein Café mit der Aufschrift «Coffee» eingebaut. Diese Landmarken heben sich farblich wie auch geometrisch von den restlichen Gebäuden ab.



Abbildung 4.1.: Beispiel zweier Strassenkreuzungen im 3D-Stadtmodell, einmal mit (oben) und ohne (unten) Landmarke.

Damit aus diesen vorhandenen Texturen jeweils ein 3D-Modell entstand, mussten in ESRI CityEngine 2014 (ESRI, 2016) sogenannte CGA-Dateien erstellt und einem Gebäudegrundriss zugewiesen werden. Diese CGA-Dateien beinhalten Informationen zu einem Gebäude wie z.B. dessen Höhe oder die zu verwendenden Texturen. Für die Gebäudehöhen wurde eine vordefinierte Funktion verwendet, welche der Höhe einen zufälligen Wert zuweist. Die dafür erstellten Code-Elemente sind im Anhang aufgeführt. Das Stadtmodell wurde anschliessend mit insgesamt vier verschiedenen Darstellungsmethoden erstellt

4.2.5. CL3VER

Bei CL3VER (2016) handelt es sich um eine Online-Plattform zur Visualisierung von 3D-Modellen. Dies war einerseits notwendig, um die virtuelle Umgebung auch im Eye-Movement-Labor ohne die Installation von zusätzlichen Programmen auf dem Computer aufrufen zu können, und andererseits verlangt das Eye-Movement-System eine URL, die während der Aufnahme geöffnet werden kann. Ausserdem ermöglicht CL3VER (2016) die Navigation im 3D-Stadtmodell mit eingeschränkten Interaktionsmöglichkeiten.

Aus ESRI CityEngine 2014 (ESRI, 2016) konnte das gesamte Stadtmodell als FBX-Datei exportiert und in CL3VER (2016) importiert werden. Dort konnten anschliessend die Kamerapunkte in gleichen Abständen entlang der Route gesetzt und deren Reihenfolge definiert werden. Durch die Implementierung von zwei Pfeilen auf dem Bildschirm wurde den Teilnehmenden ermöglicht, entweder zur nächsten (mit dem «Pfeil nach oben») oder zur vorherigen («Pfeil nach unten») Kamera zu springen. Zudem konnten sie sich an jedem Punkt durch das Gedrückt-Halten der Maustaste frei umsehen. Dadurch wurde ein ähnliches Verhalten, wie es in Google StreetView (2016) zu finden ist, simuliert. Die Kamera folgte der Route jeweils automatisch.

Neben den Kameraeinstellungen (wie z.B. Position, Geschwindigkeit der Fortbewegung etc.) konnten noch weitere Einstellungen direkt in CL3VER (2016) vorgenommen werden. So wurde eine sogenannte Skybox (2016) für den Himmel verwendet. Dadurch wird insbesondere bei der abstrakt-schwarzweissen Darstellung (siehe Abschnitt 4.3.1) ein Kontrast erreicht und somit das Erkennen der einzelnen Objekte erleichtert. Die Wahl fiel auf einen blauen Himmel, da sich in der Studie von Schmidt et al. (2012) herausgestellt hat, dass die Teilnehmenden ein schlechteres Resultat erzielten, wenn der Himmel grau war, im Vergleich zu einem blauen Himmel. Dies hing mit der damit verbundenen Helligkeit der Objekte zusammen (Schmidt et al., 2012).

4.2.6. Fragebogen

Für die Studie wurde neben dem virtuellen Stadtmodell auf der CL3VER-Plattform (CL3VER, 2016) auch der Umfragedienst SurveyMonkey (2016) verwendet. Damit konnten die unterschiedlichen Fragebogen erstellt werden (siehe Anhang). Verschiedene Fragen wurden einerseits vor der Studie (im Folgenden «Vorfragebogen») und andererseits zum Schluss der Studie (im Folgenden «Abschlussfragebogen») gestellt.

Der Vorfragebogen enthielt allgemeine Informationen zur Studie wie beispielsweise das Szenario, in das sich die Teilnehmenden hineindenken sollten, eine Bedienungsanleitung zur Navigation im Stadtmodell sowie einige Regeln, die dabei beachtet werden sollten. Die Teilnehmenden wurden zudem darauf hingewiesen, dass sie sich die im Stadtmodell gezeigte Route einprägen sollten. Anschliessend wurden Daten wie das Alter, Geschlecht, Sehschwächen (wie z.B. Farbenblindheit, Korrekturen etc.) und die Erfahrung in verschiedenen Disziplinen (wie z.B. Geographie, Raumplanung, Erfahrung mit 3D-Modellen etc.) erhoben. Ausserdem wurden die Teilnehmenden gefragt, welche Visualisierungsart sie wählen würden, wenn sie sich in einer virtuellen Umgebung eine Wegbeschreibung einprägen müssten (Präferenzfrage).

Der Abschlussfragebogen wurde ganz zum Schluss der Studie vorgelegt und enthielt wiederum die Präferenzfrage. Durch das erneute Stellen dieser Frage kann untersucht werden, ob sich die Präferenz für eine Darstellungsart während der Studie geändert hat. Diese Art der Befragung wurde beispielsweise auch in der Studie von Smallman und Cook (2011) verwendet. Zudem mussten die Teilnehmenden angeben, ob sie mit der bevorzugten Visualisierungsart nach eigener Einschätzung auch eine bessere Leistung (d.h. kürzere Antwortzeiten, mehr korrekte Antworten) erzielt hätten.

4.2.7. Hauptexperiment

Nachdem die Teilnehmenden den Vorfragebogen ausgefüllt hatten, wurden sie zum Eye-Tracking-Computer gebeten. Auf dem Laptop konnte mit Hilfe des TeamViewers (2016) jeweils gesteuert werden, was auf dem Eye-Tracking-Computer aufgeschaltet sein sollte. Die Reihenfolge der einzelnen Visualisierungstypen (siehe Kapitel 4.3.1) wurde vorgängig mittels einer TXT-Datei (siehe Anhang) bei Tobii Studio (2016) einprogrammiert, sodass die Abfolge automatisch einem *Latin-Square* folgte. Damit soll der Lerneffekt ausgeglichen werden (z.B. Lloyd et al. (2009)).

Im Stadtmodell zeigte die Kamera zu Beginn in den Himmel, sodass die Teilnehmenden noch keine Sicht auf die Gebäude hatten. Erst indem sie mit der Maus im Bildschirm auf den «Pfeil nach oben» klickten, sprang die Kamera zum Ausgangspunkt der Route, wodurch die Umgebung nun aus der egozentrischen Perspektive gezeigt wurde. Die Fortbewegung erfolgte über die auf dem Bildschirm dargestellten Pfeile, wobei sich die Kamera durch einen Klick auf den «Pfeil nach oben» nach vorne bzw. mit einem Klick auf den «Pfeil nach unten» rückwärts bewegte. An jedem Kamerapunkt konnten sich die Freiwilli-

gen frei umsehen, indem sie die linke Maustaste gedrückt hielten und die Maus bewegten. Die Kamera folgte automatisch der vordefinierten Route. Vor einem Richtungswechsel wurde zudem im unteren Bildschirmrand ein Pfeil eingeblendet, der darauf hindeutete, in welche Richtung die Kamera demnächst abbiegen wird (siehe Abbildung 4.3). Dadurch hatten die Teilnehmenden bereits die Möglichkeit, sich die Umgebung einer Kreuzung vor einem Richtungswechsel anzuschauen.



Abbildung 4.3.: Beispiel aus der realistisch-schwarzweissen Variante des 3D-Stadtmodells in CL3VER (2016). Der Pfeil unten [1] zeigt, in welche Richtung die Route nach der Kreuzung weiter verlaufen wird. Mit den beiden Pfeilen rechts [2] gelangt man zum nächsten bzw. vorherigen Kamerapunkt.

Die Teilnehmenden hatten die Möglichkeit, sich maximal zwei Mal innerhalb von vier Minuten durch die virtuelle Umgebung zu bewegen. In der Studie von Nys et al. (2015) hat sich herausgestellt, dass eine zweimalige Wiederholung für die meisten Erwachsenen ausreichend, aber auch notwendig war, um eine adäquate mentale Repräsentation der Umwelt zu schaffen. Die Pilotstudien haben zudem gezeigt, dass vier Minuten ausreichen, um sich zwei Mal durch die gesamte virtuelle Umgebung zu bewegen. Die Freiwilligen mussten sich dabei jeweils an die im Vorfragebogen erwähnten Regeln (siehe Anhang) halten. Eine Übersicht über die Regeln sowie eine Bedienungsanleitung lagen für den Bedarfsfall nochmals neben dem Eye-Tracking-Computer auf.

Im Anschluss wurde jeweils der entsprechende Fragebogen gestartet. Hierfür hatten die Teilnehmenden kein Zeitlimit. Folgende Aufgaben mussten die Teilnehmenden jeweils lösen; bei allen Aufgaben gab es die Möglichkeit, die Antwort «Ich weiss es nicht» auszu-

* 8. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links geradeaus rechts Dies ist mein Zielort Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route Ich weiss es nicht



* 9. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

Abbildung 4.5.: Beispiel einer Frage der Richtungswechsellaufgabe bei der realistisch-farbigen Visualisierungsart.

Aufgabe 3: Ordnungsaufgabe

Hiermit wird das erlangte Routenwissen getestet (Van Asselen et al., 2006). Von den insgesamt fünf Bildern zeigte eines einen Ort, der gar nicht auf der Route lag (Ablenkungsbild). Die Aufgabe (siehe Abbildung 4.6) bestand nun darin, die Abbildungen in die korrekte Reihenfolge zu bringen und dabei das Ablenkungsbild auszuschliessen (indem es in der Reihenfolge nicht genannt wird).

Aufgabe 4: Wiedererkennungsaufgabe

In der letzten Aufgabe (Abbildung 4.7) wurden Orte aus dem Stadtmodell gezeigt, bei denen die Teilnehmenden jeweils entscheiden mussten, ob sie den entsprechenden Ort entlang der Route gesehen hatten oder nicht. Gemäss Kettunen et al. (2012) eignet sich ein solcher Aufgabentyp, um die Qualität des Erinnerungsvermögens zu testen, gemäss Van Asselen et al. (2006) aber auch zur Beurteilung des Routenwissens.

Am Schluss eines Fragebogens wurden die Teilnehmenden jeweils über ihre Strategie befragt, wie sie sich in der jeweiligen Umgebung die Routen eingepägt haben (wie z.B. auch

* 14. Bringen Sie folgende Bilder in die korrekte Reihenfolge. Beginnen Sie mit jenem Ort, dem Sie auf der Route als *erstes* begegnet sind. Nennen Sie die Nummer eines Ortes *nicht*, wenn der Ort gar nicht auf der Route liegt. Geben Sie ins Feld ein *X* ein, falls Sie diese Frage nicht beantworten können. (Bitte trennen Sie die Zahlen im Eingabefeld jeweils mit einem Komma)



NR. 1



NR. 2



NR. 3



NR. 4



NR. 5

Abbildung 4.6.: Ordnungsaufgabe bei der realistisch-farbigen Darstellungsmethode.

* 2. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht

eher nicht

eher ja

definitiv ja

Ich weiss es nicht



Abbildung 4.7.: Wiedererkennungsaufgabe bei der realistisch-farbigen Variante.

bei Kamachi et al. (2009)). Solche Strategien könnten das Erstellen einer mentalen Repräsentation, Abzählen der Richtungswechsel und Definieren von Landmarken sein (Lloyd et al., 2009).

4.2.8. Perspective Taking/Spatial Orientation Test

Räumliche Aufgaben wie z.B. das Planen von Routen oder das Verfolgen von verbalen Wegbeschreibungen verlangen, dass man sich einen bestimmten Ort vorstellen und dort den nächsten Richtungswechsel benennen kann. Die Tests zum *Perspective Taking* scheinen diese Fähigkeit zu messen (Hegarty und Waller (2004); Wolbers und Hegarty (2010)). Wie in der Studie von Meijer et al. (2009) wurde auch in dieser Arbeit ein solcher Test gewählt.

Zur Ermittlung des räumlichen Orientierungsvermögens wurde der *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* von Hegarty et al. (2008) verwendet (siehe Anhang). Dieser testet die Fähigkeit, die egozentrische Perspektive zu wechseln (Hegarty und Waller, 2004). Bei den einzelnen Aufgaben wird jeweils eine vorgegebene Anordnung von Objekten gezeigt. Die Teilnehmenden müssen sich vorstellen, dass sie sich bei einem Objekt befinden und in die Richtung eines anderen schauen. Die Aufgabe besteht nun darin, einen Pfeil einzuzichnen, der die Richtung eines dritten Objekts zeigt. Das Beispiel (Abbildung 4.8) soll die Fragestellung veranschaulichen. Für jeden eingezeichneten Pfeil wurde dann die absolute Abweichung, d.h. die Differenz (in Grad) zur korrekten Antwort, ermittelt (Kozhevnikov und Hegarty, 2001). Daraus wurde am Schluss die mittlere Abweichung für jeden Teilnehmenden berechnet (Hegarty und Waller, 2004). Dies erlaubt eine qualitative Aussage über das räumliche Orientierungsvermögen: Personen mit einer hohen mittleren Abweichung weisen im Vergleich zu Personen mit einer tieferen mittleren Abweichung ein schlechteres räumliches Orientierungsvermögen auf.

Oftmals werden die Teilnehmenden per Mediansplit in eine Gruppe mit hoher bzw. geringer räumlicher Vorstellungskraft eingeteilt (z.B. Huk (2006); Smallman und Cook (2011); Wilkening und Fabrikant (2011)). Eine weitere Möglichkeit ist die Einteilung der Personen in drei Klassen (schlechtes, mittleres und hohes räumliches Vorstellungsvermögen), wobei man die mittlere Klasse auslässt und nur die Unterschiede zwischen den anderen beiden Gruppen untersucht (Wilkening und Fabrikant, 2011).

In der Arbeit von Wilkening und Fabrikant (2011) hat sich gezeigt, dass der Effekt des

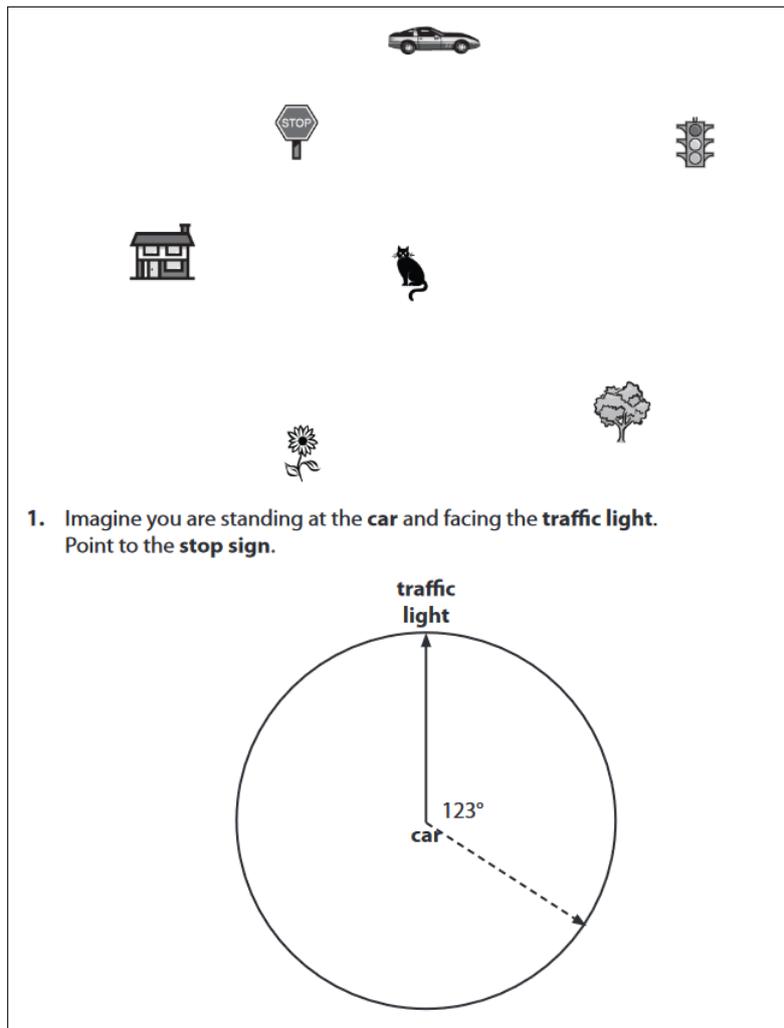


Abbildung 4.8.: Beispiel einer Aufgabe des *Perspective Taking/Spatial Orientation Test*. Der gestrichelte Pfeil zeigt die Lösung (Hegarty et al., 2008).

räumlichen Vorstellungsvermögens stark davon abhängt, wie deren Klassifikation vorgenommen wird. In dieser Arbeit wurde daher entschieden, keine Klasseneinteilung vorzunehmen, sondern die Effekte mit einer Korrelation zu untersuchen. Ziel war es, zu erkennen, ob Personen mit einer relativ guten räumlichen Orientierung auch bessere Resultate erzielt haben und umgekehrt.

4.3. Experimentdesign

Alle Personen, die sich dazu bereit erklärt hatten, an der Studie teilzunehmen, erhielten einen Link zu einer Doodle-Umfrage (Doodle, 2016) sowie zu einer Informationsseite (Cervenka, 2016). Bei der Doodle-Umfrage (Doodle, 2016) konnten sie sich für einen freien Termin eintragen. Dieser wurde im Anschluss per E-Mail bestätigt und der Treffpunkt wurde persönlich mit den Teilnehmenden vereinbart. Über die Informationsseite (Cervenka, 2016) erhielten sie nochmals einige Hinweise zur Studie, den genauen Standort sowie die Kontaktdaten des Versuchsleiters.

Die Studie dauerte in der Regel etwa 60 Minuten und folgte einem vordefinierten Ablauf, sodass für alle Personen die gleichen Rahmenbedingungen vorlagen. Den Freiwilligen wurde eine Identifikationsnummer zugeteilt und ein Zustimmungsfomular (siehe Anhang) vorgelegt, in dem sie über den Zweck und Ablauf der Studie informiert wurden. Nach dem Unterschreiben der Zustimmungserklärung wechselten die Teilnehmenden an den bereitgestellten Laptop, auf dem bereits der Vorfagebogen aufgeschaltet war. Im Anschluss wurden sie aufgefordert, an den Eye-Movement-Computer zu wechseln. Für die Kalibrierung des Systems mussten sie sich mit dem Stuhl so positionieren, dass sie etwa einen horizontalen Abstand von 50-60cm zum Bildschirm hatten. Sie erhielten die Anweisung, sich während der Aufnahme wenn möglich nicht zu bewegen, sodass das Eye-Tracking-System den Kontakt zu den Augen nicht verliert. Sobald sie eine für sich bequeme Position gefunden hatten, wurde die Kalibrierung des Systems vorgenommen.

Die Aufnahme begann anschliessend mit einer der vier Visualisierungsarten; das System folgte dabei automatisch dem vordefinierten *Latin-Square*. Zu Beginn zeigte die Kamera in den Himmel, sobald die Teilnehmenden auf den «Pfeil nach oben» klickten, sprang die Kamera zum Startpunkt der Route. Ab diesem Zeitpunkt wurden die vorgegebenen vier Minuten gestoppt. Der Versuchsleiter kontrollierte aus dem Hintergrund, dass keine der zuvor gezeigten Regeln verletzt wurden, und wies die Teilnehmenden gegebenenfalls

darauf hin. Nach vier Minuten oder zwei Durchläufen wurde das Stadtmodell vom Laptop mittels TeamViewer (2016) beendet und der dazugehörige Fragebogen gestartet. Für das Ausfüllen des Fragebogens wurde jeweils kein Zeitlimit vorgegeben. Nach dessen Abschluss wurde das nächste Stadtmodell gestartet. Alle Teilnehmenden durchliefen somit alle Darstellungen, was einem *within-subject design* entspricht (Martin, 2008). Sobald alle vier Umgebungen gezeigt und die entsprechenden Fragebogen ausgefüllt waren, wechselten die Teilnehmenden zum *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* (Hegarty et al., 2008), der bereits ausgedruckt auf Papier vorlag. Für die zwölf Fragen hatten die Teilnehmenden maximal fünf Minuten Zeit. Zum Schluss folgte der Abschlussfragebogen und nach dessen Ende erhielten die Freiwilligen als kleines Dankeschön zwei oder drei «Schogistängeli». Abbildung 4.9 zeigt den Ablauf des Experiments schematisch auf.

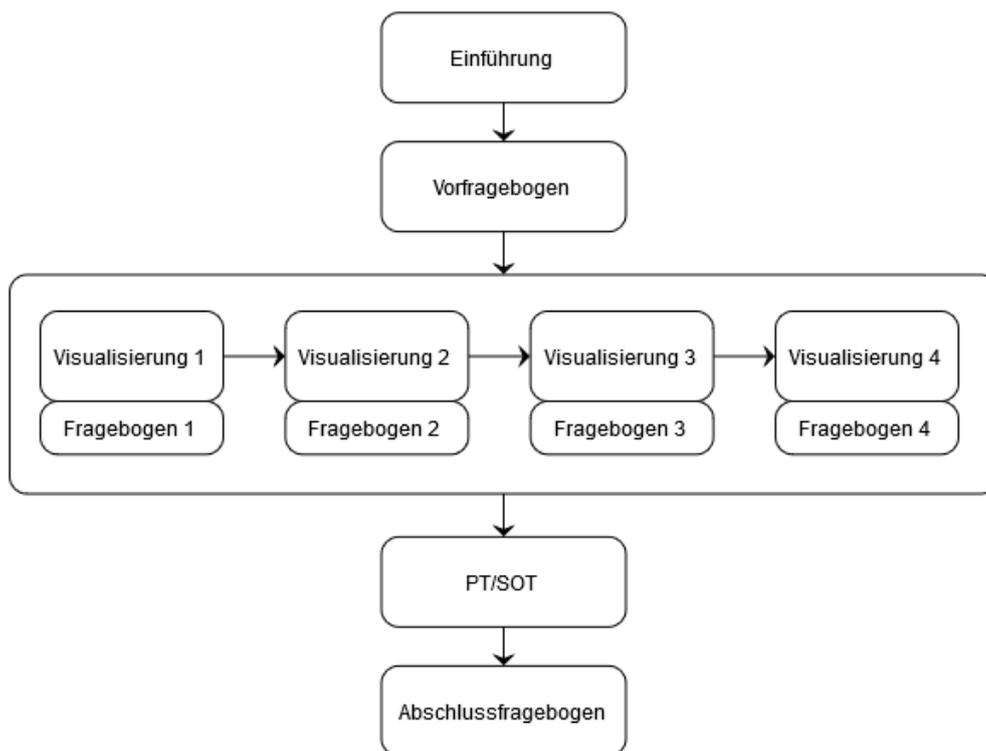


Abbildung 4.9.: Ablauf des Experiments. Die Abfolge der Visualisierungen folgt einem *Latin-Square*. Die Abkürzung «PT/SOT» steht für den *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* (Hegarty et al., 2008).

4.3.1. Unabhängige Variablen

Beim Experimentdesign handelt es sich um ein *within-subject design*, d.h. alle Teilnehmenden sahen alle Visualisierungen und beantworteten die jeweils dazugehörigen Fragebögen (Martin, 2008). Die Darstellungsmethode entspricht in diesem Experiment der unabhängigen Variablen. Insgesamt wurden vier verschiedene Realitätsgrade verwendet, die nachfolgend erläutert werden. Zwischen den einzelnen Visualisierungsarten variiert jeweils nur die Textur oder Farbe, während die restlichen Eigenschaften wie beispielsweise die Geometrie, der Hintergrund (blauer Himmel) oder die Beleuchtung unverändert bleiben. Die Abbildung 4.10 gibt eine Übersicht über alle Visualisierungsarten.

Realistisch-farbige Darstellung (RC)

Die realistisch-farbige Visualisierungsart weist den höchsten Realitätsgrad auf. Sie stellt die Objekte mit ihrer Textur sowie mit allen Farben, welche die Fassade enthält, dar. Die fotorealistische Textur wurde also nicht verändert.

Realistisch-schwarzweisse Darstellung (RnC)

Diese Darstellungsmethode leitet sich aus der realistisch-farbigen Variante ab. Hier wurde die Farbinformation entfernt, indem die Sättigung der Textur mit Adobe Photoshop CS6 (Adobe, 2016) auf Null gesetzt wurde. Die Fassaden werden so schwarzweiss dargestellt, zeigen aber immer noch die Charakteristik eines Gebäudes.

Abstrakt-farbige Darstellung (AC)

Bei den abstrakten Abbildungen wurde die Textur entfernt. Um dies zu erreichen, wurde mit Hilfe des ColorThiefs (2016) jeweils die dominanteste Farbe der Fototextur ermittelt. Das Erd- bzw. Obergeschoss eines Objekts wurde somit nur noch mit der markantesten Farbe dargestellt.

Abstrakt-schwarzweisse Darstellung (AnC)

Diese Visualisierungsart ist jene mit dem geringsten Realitätsgrad und kann somit als Basismodell betrachtet werden. Hier wurde neben der Textur auch die Farbinformation entfernt. Die Objekte werden nur in einem Grauton abgebildet. Eine Unterscheidung ist nur noch über deren Form oder Beleuchtung möglich.

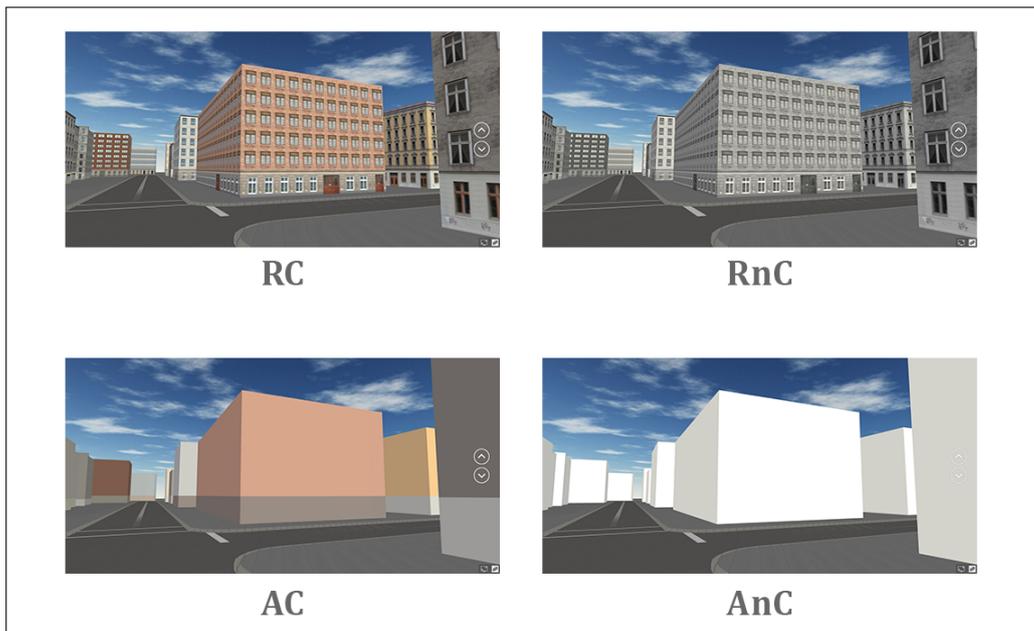


Abbildung 4.10.: Übersicht aller verwendeten Visualisierungsmethoden: Realistisch-farbig (RC), realistisch-schwarzweiss (RnC), abstrakt-farbig (AC), abstrakt-schwarzweiss (AnC).

4.3.2. Abhängige Variablen

Effektivität

Mit Ausnahme der Ordnungsaufgabe (siehe Abschnitt 4.2.7) wurde für jede korrekt gelöste Frage ein Punkt vergeben. Bei der Ordnungsaufgabe wurde für jedes korrekt platzierte Bild ein Punkt gegeben, während für das Erwähnen des Ablenkungsbildes ein Punkt abgezogen wurde, da es nicht zur Reihenfolge gehört. Bei «Ich weiss es nicht»-Antworten wurden keine Punkte vergeben (Çöltekin et al., 2010). Daraus konnte jeweils die Effektivität in Prozent berechnet werden (Anteil korrekt gelöster Aufgaben an der Gesamtpunktzahl).

Effizienz

Pro Frage wurde zusätzlich zur Effektivität die Antwortzeit für alle korrekt beantworteten Fragen ermittelt (Gyselink et al., 2013). Gemäss Kettunen et al. (2012) gibt dies ebenfalls Aufschluss über die Qualität des erlangten räumlichen Wissens. Tobii Studio (2016) erfasst die Antwortzeit pro Frage, indem die Zeit zwischen dem ersten Aufruf einer URL und deren Verlassen in Millisekunden (ms) registriert wird. Da sich jede Frage auf einer neuen Seite befindet, entspricht jede URL einer anderen Frage. Aufgaben, die falsch oder mit

«Ich weiss es nicht» beantwortet wurden, wurden ausgeschlossen (Çöltekin et al., 2010).

Antwortssicherheit

Bei der Streckenidentifikations- und der Richtungswechselfaufgabe wurden die Teilnehmenden zudem gefragt, wie sicher sie sich mit ihrer gegebenen Antwort sind. Sie konnten ihre Einschätzung auf einer 4-Punkte-Skala von «sehr unsicher» bis hin zu «sehr sicher» abgeben.

4.3.3. Statistik

Die statistischen Untersuchungen wurden mit SPSS (2016) vorgenommen. Alle Resultate gelten als signifikant, sobald der p-Wert unterhalb des Grenzwertes von 0.05 liegt. In den dazugehörigen Balkendiagrammen werden signifikante Unterschiede je nach p-Wert entsprechend markiert: für $p < 0.05$ mit einem Stern (*), für $p < 0.01$ mit zwei (**) und für $p < 0.001$ mit drei (***) Sternen. Die Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) wurde verwendet, da jede teilnehmende Person alle Visualisierungstypen betrachtet hat (Field, 2009). Waren die Voraussetzungen für die Varianzanalyse mit Messwiederholung nicht gegeben, so wurde ein nicht parametrischer Test verwendet, in diesem Falle die Friedman's ANOVA. Sofern ein Unterschied existierte, wurde der paarweise Vergleich betrachtet, um zu sehen, wo die Unterschiede liegen. Für den Vergleich der Genauigkeiten bei Fragen mit bzw. ohne Landmarken wurde ein Wilcoxon-Test angewendet.

Die beschreibende Statistik wird mit dem Mittelwert (M) und der Standardabweichung (SD) aufgeführt. Für die Varianzanalyse mit Messwiederholung werden jeweils der F-Wert (F), die Freiheitsgrade, der p-Wert (p) sowie das partielle Eta-Quadrat (η^2) angegeben und bei einer Friedman's ANOVA das Chi-Quadrat, der p-Wert (p) sowie die Stichprobengrösse (n). Für den Wilcoxon-Test wird der z-Wert (z), p-Wert und die Stichprobengrösse (n) aufgeführt.

Um zu untersuchen, ob zwischen dem räumlichen Orientierungsvermögen und der Effektivität oder Effizienz einer Darstellungsmethode bzw. eines Aufgabentyps eine Korrelation besteht, wurde eine Rangkorrelation nach Spearman verwendet. Es werden jeweils die Stichprobengrösse (n) und der p-Wert (p) aufgeführt.

5. Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate aus der Studie beschrieben. Als Erstes wird die beschreibende Statistik in Bezug auf die Teilnehmenden präsentiert. Anschliessend werden die Ergebnisse aus den statistischen Analysen zur Effektivität und Effizienz der verschiedenen Darstellungsmethoden und Aufgabentypen aufgezeigt.

5.1. Teilnehmende

An der Studie haben insgesamt 33 Personen teilgenommen, wovon 19 Frauen (58%) und 14 Männer (42%) waren. Das Alter der Teilnehmenden lag zwischen 23 und 28 Jahren. Zwei Drittel (22 Personen) befanden sich zum Zeitpunkt der Studie noch im Studium an der Universität Zürich oder der ETH Zürich, während der Rest angab, berufstätig zu sein. Bei etwa der Hälfte (15 Personen) handelte es sich um aktive oder ehemalige Studierende der Geographie. Die restlichen Teilnehmenden waren in verschiedenen Gebieten tätig wie z.B. der Raumplanung, Architektur, Medizin, Tourismus etc.

Erfahrung

Die Freiwilligen beantworteten Fragen rund um ihre Erfahrung in Gebieten wie der Kartographie, Geographie oder mit Visualisierungsarten wie z.B. Google Earth (2016) und Google StreetView (2016). Die nachfolgende Grafik (Abbildung 5.1) zeigt die unterschiedlichen Erfahrungswerte auf. Generell haben die Teilnehmenden viel Erfahrung mit der Geographie, Kartographie und Raumplanung. Etwas unerfahrener sind sie mit 3D-Umgebungen.

Gebrauch

Stadtmodelle sind zurzeit noch wenig verbreitet, weshalb sie auch im Alltag kaum Anwendung finden. Aus diesem Grund wurden die Teilnehmenden zu ihrer Erfahrung mit Google

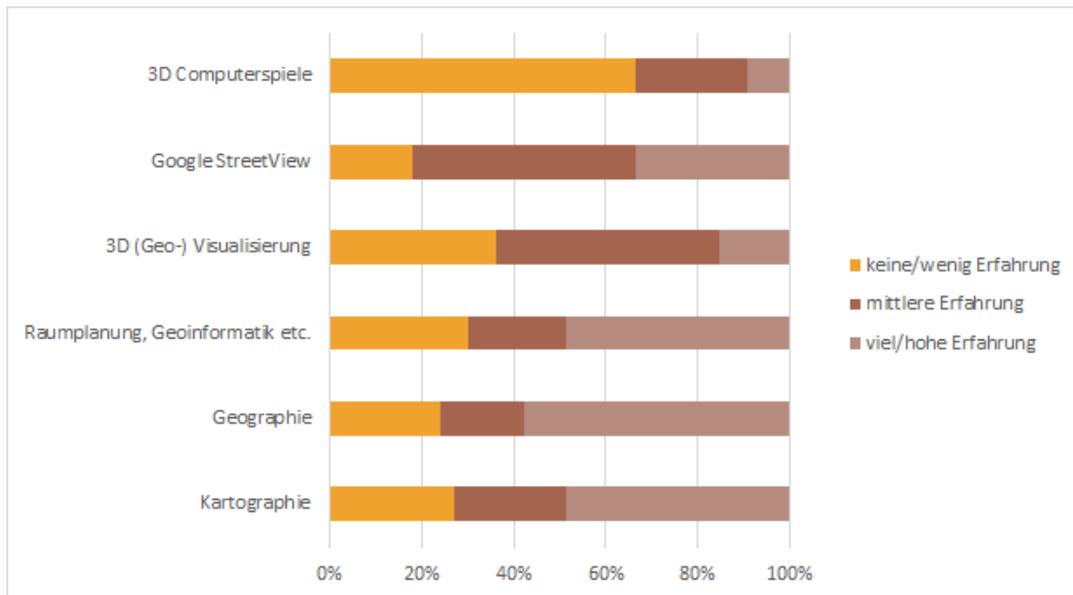


Abbildung 5.1.: Erfahrung in den relevanten Themenbereichen: Die Grafik zeigt die Einteilung der Teilnehmenden in eine der drei Erfahrungsklassen [in %].

StreetView (2016) befragt. Denn Google StreetView (2016) hat ähnliche Eigenschaften wie ein Stadtmodell, beispielsweise, dass der Betrachter die Gebäude aus einer egozentrischen Perspektive sieht oder dass man sich interaktiv durch die Umgebung bewegen kann.

Etwa die Hälfte (17 Personen) gab an, Google StreetView (2016) «gelegentlich» zu gebrauchen. Zehn Personen nutzen diesen Dienst «selten», während fünf Personen «häufig» oder «wenn immer möglich» darauf zurückgreifen. Eine Person nutzt den Dienst gar nicht.

Die Teilnehmenden wurden zudem gefragt, wann und wie sie diesen Dienst in Anspruch nehmen. Ein Grossteil gab dabei an, Google StreetView (2016) hauptsächlich «vor einer Aktivität» (30 Personen) zur «Erkundung der lokalen Infrastruktur» (24 Personen) zu verwenden. Ein kleinerer Teil verwendet es «als Routenplaner» (zehn Personen) oder «als Orientierungshilfe unterwegs» (acht Personen).

Präferenzfrage

Im Hinblick auf die Frage, welche Visualisierungsart sich am besten für das Einprägen einer Routenbeschreibung aus einem Stadtmodell eignen würde, wurden die Teilnehmenden zum Informationsgehalt von Google StreetView (2016) befragt. 28 von 33 Personen empfinden diesen als «genau richtig», während drei Personen ihn als «zu tief» und zwei Personen als «zu hoch» einstufen. Die Teilnehmenden gaben als Begründung für einen zu hohen

Gehalt an Informationen an, dass die Bilder zu viele Details enthalten wie beispielsweise das «Strassenleben» oder «zu viele Farben». Eine Teilnehmerin gab an, dass man für die Routenplanung nicht das exakte Aussehen der Gebäude gebrauche, da man sich dies nicht merken könne, was für eine abstraktere Darstellung sprechen würde. Als Gründe für zu wenig Informationen bei Google StreetView (2016) wurden hingegen Lücken in der Abdeckung oder veraltete Abbildungen genannt.

Auch in den Antworten auf die Frage, welche der Visualisierungsarten eines Stadtmodells sich für die gestellte Aufgabe am besten eignen würde, widerspiegelt sich die Präferenz für eine möglichst realitätsnahe Darstellung: 30 Personen bevorzugten die realistisch-farbige Darstellung, zwei Personen die realistisch-schwarzweisse und eine Person die abstrakt-farbige Variante. Dieselbe Frage wurde am Schluss der Studie nochmals gestellt, um zu überprüfen, ob sich in der Präferenz etwas verändert hat. Dies scheint aber nicht der Fall zu sein: Nach wie vor präferierten 30 Personen die realistisch-farbige Darstellung und drei Personen die abstrakt-farbige. Jeweils niemand bevorzugte die realistisch-schwarzweisse bzw. abstrakt-schwarzweisse Visualisierung (siehe Abbildung 5.2). Als Grund gaben 18 Personen an, mit der bevorzugten Darstellung das beste Resultat erzielt zu haben (Effektivität). 26 Personen empfanden die gewählte Darstellung als die effizienteste, d.h. sie konnten sich darin nach eigenem Ermessen die Route am schnellsten einprägen. Einige Personen kommentierten, dass die vorhandenen Details wie Fassade, Farbe, Gebäudebeschriftungen oder eine Kombination davon hilfreich gewesen seien, da so die Gebäude weniger ähnlich wirken. Denn je mehr Hinweise vorhanden sind, desto mehr Möglichkeiten habe man, die Gebäude zu unterscheiden.

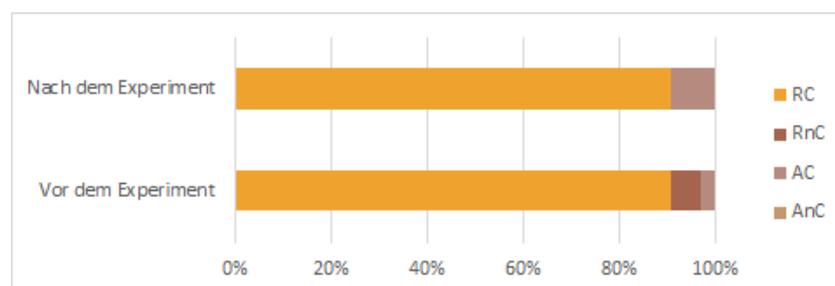


Abbildung 5.2.: Präferenz der Teilnehmenden [in %] für eine Visualisierungsart vor (unten) und nach (oben) dem Experiment.

Der Grossteil präferiert also die realistisch-farbige Visualisierung. Die aus der Richtungswechsellaufgabe erhaltene Information über die Antwortsicherheit zeigt denn auch, dass sich die Teilnehmenden mit dieser Darstellungsmethode am sichersten mit der abgegebe-

nen Antwort fühlen: In der realistisch-farbigen Umgebung gaben 66.67% der Personen an, sich mit ihrer Antwort in der Aufgabe 2 «eher sicher» oder «sicher» zu sein. Die Antwort-sicherheit nimmt dann nur leicht ab (realistisch-schwarzweiss: 64.24%, abstrakt-farbig: 60.00%), bis sie jedoch bei der abstrakt-schwarzweissen Abbildungsart sehr stark sinkt (37.58%).

5.2. Effektivität (Antwortgenauigkeit)

Untersucht wurde der Einfluss der Visualisierungstypen auf das räumliche Lernen. Um einen Vergleich anstellen zu können, wurde die erreichte Punktzahl jeweils in Prozent umgerechnet (Doorn und Blokland, 2014). Die Tabelle (5.1) gibt eine Übersicht über die erzielten Genauigkeit je nach Visualisierung bzw. Aufgabe.

Tabelle 5.1.: Beschreibende Statistik der Effektivität: Mittlere Genauigkeit (M) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Visualisierungs- bzw. Aufgabentypen [in %].

	Aufgabe 1		Aufgabe 2		Aufgabe 3		Aufgabe 4	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
RC	87.88	33.14	59.39	24.23	57.58	26.13	88.89	11.54
RnC	87.88	33.14	60.00	22.91	53.79	30.05	86.87	14.29
AC	84.84	36.41	52.73	34.94	46.97	35.77	84.34	18.61
AnC	90.91	29.19	37.58	31.13	34.09	36.35	80.81	15.66

Effektivität nach Visualisierungen

Beim gesamthaften Vergleich wird die Effektivität der Visualisierungen über alle Aufgabentypen hinweg verglichen. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass sich die erreichten Genauigkeiten zwischen den Visualisierungsarten signifikant unterscheiden ($F(3,96) = 6.415$, $p < .001$, partielles $\eta^2 = .167$). Ein paarweiser Vergleich gibt an, dass sich die Genauigkeiten der realistisch-farbigen (RC) und der abstrakt-schwarzweissen (AnC) ($p < 0.01$) sowie der realistisch-schwarzweissen (RnC) und der abstrakt-schwarzweissen (AnC) Visualisierung ($p < 0.01$) signifikant unterscheiden. Kein signifikanter Unterschied existiert zwischen der abstrakt-farbigen (AC) und der AnC-Darstellungsmethode ($p = \text{n.s.}$). Auch zwischen den restlichen Visualisierungen gibt es keine signifikanten Unterschiede. Die Mittelwerte der erzielten Genauigkeiten nehmen im Gesamtvergleich mit zunehmendem Abstraktionsgrad ab: RC ($M = 71.78$, $SD = 14.42$), RnC ($M = 70.27$,

$SD = 15.63$), AC ($M = 65.15$, $SD = 23.59$) und AnC ($M = 56.25$, $SD = 20.19$) (siehe Abbildung 5.3).

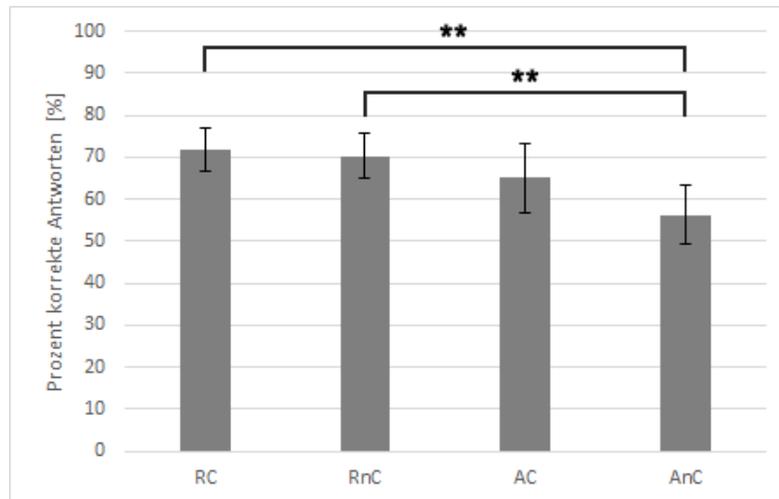


Abbildung 5.3.: Prozent korrekter Antworten über alle Aufgabentypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

Zudem wurde die Effektivität der Visualisierungen für jeden Aufgabentyp einzeln untersucht. Eine Friedman's ANOVA ergab, dass sich die Antwortgenauigkeiten in der Streckenidentifikationsaufgabe nicht signifikant zwischen den Darstellungsarten unterscheiden ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 0.571$, $p = \text{n.s.}$, $n = 33$). Auch bei der Wiedererkennungsaufgabe gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Visualisierungstypen ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 6.026$, $p = \text{n.s.}$, $n = 33$). Hingegen unterscheiden sich die Genauigkeiten in der Richtungswechselfaufgabe ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 14.449$, $p < 0.01$, $n = 33$). Der paarweise Vergleich zeigt, dass sich die Visualisierungsarten RC und AnC ($p < 0.05$) sowie RnC und AnC ($p < 0.05$) signifikant unterscheiden, zwischen den restlichen Visualisierungen besteht kein signifikanter Unterschied (siehe Abbildung 5.4).

Auch in der Ordnungsaufgabe ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 12.574$, $p < 0.05$, $n = 33$) gibt es signifikante Unterschiede je nach Visualisierung. Gemäss dem paarweisen Vergleich unterscheiden sich lediglich die Darstellungen RC und AnC voneinander ($p < 0.01$), wie Abbildung 5.5 zeigt.

Effektivität nach Aufgabentypen

Auch hier wurde ein gesamthafter Vergleich aufgestellt, bei dem also die Genauigkeiten der Antworten bei den verschiedenen Aufgabentypen unabhängig von der Visualisierungs-

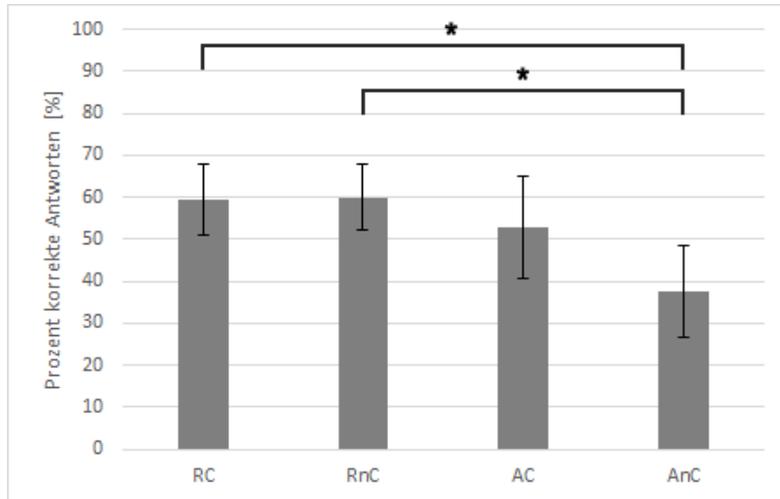


Abbildung 5.4.: Prozent korrekter Antworten in der Richtungswechsellaufgabe (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

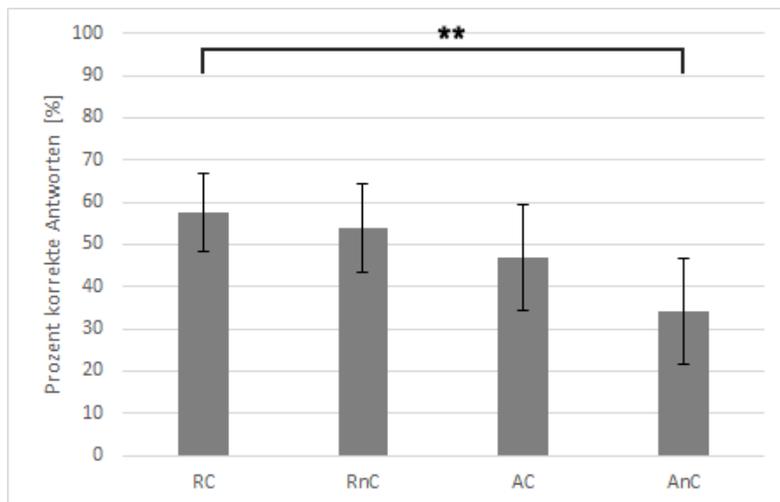


Abbildung 5.5.: Prozent korrekter Antworten in der Ordnungsaufgabe (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

art untersucht werden. Eine Friedman's ANOVA ergab, dass sich die Aufgabentypen signifikant unterscheiden ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 69.826$, $p < 0.001$, $n = 33$). Der paarweise Vergleich zeigt auf, dass es keine Unterschiede zwischen der Richtungswechsel- und der Ordnungsaufgabe ($p = \text{n.s.}$) sowie zwischen der Streckenidentifikations- und Wiedererkennungsaufgabe ($p = \text{n.s.}$) gibt. Zwischen den restlichen Aufgabentypen existiert ein signifikanter Unterschied (jeweils $p < 0.001$) (siehe Grafik 5.6). Die mittlere Genauigkeit in der Streckenidentifikations- ($M = 87.88$, $SD = 16.68$) und Wiedererkennungsaufgabe ($M = 85.23$, $SD = 9.78$) ist deutlich höher als bei den anderen beiden Aufgaben, also der Richtungswechsel- ($M = 52.42$, $SD = 19.13$) und Ordnungsaufgabe ($M = 48.11$, $SD = 21.85$).

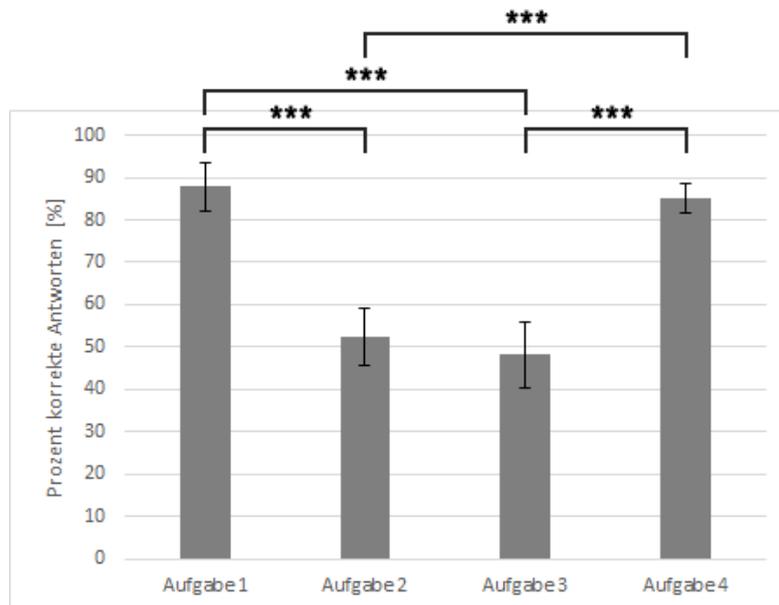


Abbildung 5.6.: Prozent korrekter Antworten über alle Visualisierungstypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

Pro Visualisierungsmethode wurden die einzelnen Aufgaben ebenfalls statistisch untersucht. Eine Friedman's ANOVA gab jeweils an, dass sich die Aufgabenarten innerhalb einer Darstellungsmethode signifikant unterscheiden: RC ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 44.857$, $p < 0.001$, $n = 33$), RnC ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 45.445$, $p < 0.001$, $n = 33$), AC ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 44.496$, $p < 0.001$, $n = 33$) und AnC ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 49.788$, $p < 0.001$, $n = 33$). Die einzelnen paarweisen Vergleiche widerspiegeln das Resultat der gesamthaften Analyse: Zwischen der Richtungswechsel- und der Ordnungsaufgabe sowie zwischen der Streckenidentifikations- und der Wiedererkennungsaufgabe existiert kein signifikanter Unterschied ($p = \text{n.s.}$).

Effektivität bei Landmarken

Um zu beurteilen, ob Landmarken das räumliche Lernen erleichtert haben, wurde ein Wilcoxon-Test durchgeführt. In der Richtungswechselfaufgabe wurden die Aufgaben mit sowie ohne Landmarken miteinander verglichen. Tabelle 5.2 gibt eine Übersicht der beschreibenden Statistik.

Tabelle 5.2.: Beschreibende Statistik der Effektivität bei Entscheidungspunkten mit und ohne Landmarke (Mittlere Genauigkeit (M) und Standardabweichung (SD) [in %]).

	mit Landmarke		ohne Landmarke	
	M	SD	M	SD
RC	90.91	23.23	38.38	35.47
RnC	87.88	25.09	41.41	32.31
AC	65.15	40.48	44.44	40.54
AnC	45.45	38.25	32.32	31.72

Der Gesamtvergleich, d.h. unabhängig von der Visualisierungsart, ergab, dass es zwischen den Aufgaben mit und den Aufgaben ohne Landmarken einen signifikanten Unterschied gibt (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -4.873$, $p < 0.001$, $n = 33$). Fragen mit Landmarken ($M = 72.35$, $SD = 19.20$) wurden öfters korrekt beantwortet als Fragen ohne Landmarken ($M = 39.14$, $SD = 22.77$). Die Abbildung 5.7 verdeutlicht den Unterschied.

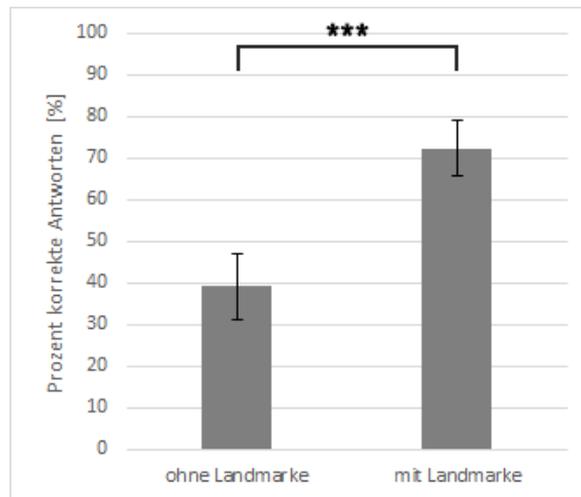


Abbildung 5.7.: Prozent korrekter Antworten bei Entscheidungspunkten mit (rechts) und ohne (links) Landmarke (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

Auch der Vergleich innerhalb der einzelnen Visualisierungsarten ergab in allen Fällen, dass ein signifikanter Unterschied existiert: RC (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -4.573$, p

< 0.001 , $n = 33$), RnC (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -4.413$, $p < 0.001$, $n = 33$), AC (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -2.465$, $p < 0.01$, $n = 33$) und AnC (asymptotischer Wilcoxon-Test: $z = -2.194$, $p < 0.05$, $n = 33$).

5.3. Effizienz (Antwortzeit)

Neben der Effektivität wurde auch die Effizienz der Visualisierungen untersucht. Diese könnte Aufschluss darüber geben, ob eine Darstellungsmethode das räumliche Erlernen erleichtert (bzw. erschwert) hat, was in einer kürzeren (bzw. längeren) Antwortzeit resultieren könnte. Für die statistischen Untersuchungen wurden somit die mittleren Antwortzeiten für alle korrekt gelösten Aufgaben miteinander verglichen. Falsch gelöste Aufgaben oder jene, die mit «Ich weiss es nicht» beantwortet wurden, wurden nicht in die Analyse miteinbezogen (Çöltekin et al., 2010). Tabelle 5.3 gibt eine Übersicht über die jeweilige Antwortzeit pro Aufgabe und Visualisierungsart.

Tabelle 5.3.: Beschreibende Statistik der Effizienz: Mittlere Antwortzeit (M) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Visualisierungs- bzw. Aufgabentypen [in Sekunden].

	Aufgabe 1		Aufgabe 2		Aufgabe 3		Aufgabe 4	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
RC	35.80	22.72	12.59	5.75	59.78	31.27	9.33	3.13
RnC	36.94	23.78	14.08	7.55	56.55	26.16	9.65	2.92
AC	32.63	24.13	12.31	10.52	41.13	32.21	10.00	3.22
AnC	35.53	24.45	13.44	11.30	39.62	35.28	9.25	3.44

Effizienz nach Visualisierungstypen

Beim Gesamtvergleich wurde die mittlere Antwortzeit (in Millisekunden) bei den verschiedenen Visualisierungen verglichen, d.h. über alle Aufgabentypen hinweg. Damit soll untersucht werden, ob eine Visualisierungsart generell schneller zur korrekten Antwort führt oder nicht. Der Datensatz wurde gemäss Field (2009) von Ausreissern bereinigt, die einen Effekt auf die Signifikanz hatten. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab daraufhin, dass sich die Antwortzeiten zwischen den Visualisierungsarten signifikant unterscheiden ($F(3,96) = 3.670$, $p < 0.05$ partielles $\eta^2 = 0.103$). Der paarweise Vergleich zeigt, dass sich die Antwortzeiten lediglich zwischen den Visualisierungen RnC und AnC signifikant unterscheiden ($p < 0.05$). Zwischen den restlichen Visualisierungen gab es kei-

ne signifikanten Unterschiede (siehe Abbildung 5.8). Die mittlere Antwortzeit nimmt mit zunehmendem Abstraktionsgrad ab: RC ($M = 29207$, $SD = 10584$), RnC ($M = 29049$, $SD = 9435$), AC ($M = 24016$, $SD = 11142$) und AnC ($M = 23894$, $SD = 8750$).

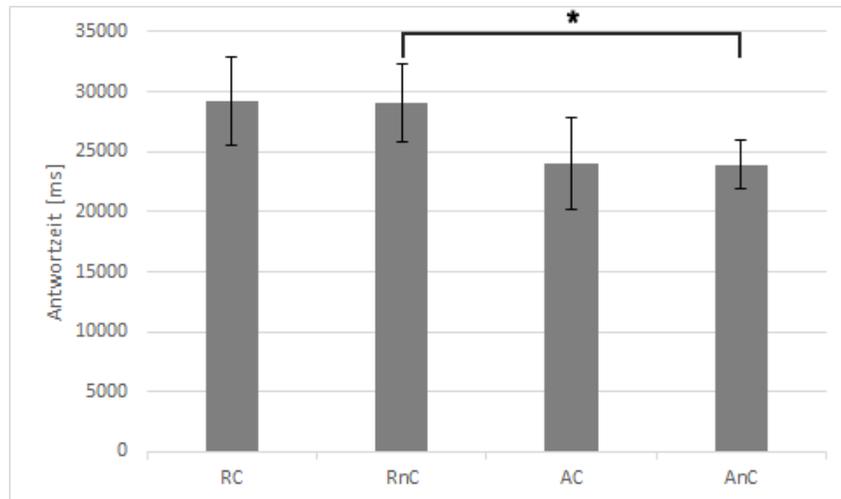


Abbildung 5.8.: Antwortzeit [in Millisekunden] über alle Aufgabentypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

Um zu beurteilen, ob die Teilnehmenden bei einem Aufgabentyp mit einer bestimmten Abbildungsmethode schneller waren, wurden auch Einzelvergleiche durchgeführt. Waren die Voraussetzungen für eine Varianzanalyse mit Messwiederholung nicht erfüllt, wurde eine Friedman's ANOVA verwendet. In allen Fällen hat sich gezeigt, dass die Antwortzeit innerhalb eines Aufgabentyps zwischen den Visualisierungstypen nicht signifikant unterschiedlich ist: Streckenidentifikations- ($F(3,57) = 0.847$, $p = \text{n.s.}$, partielles $\eta^2 = 0.043$), Richtungswechsel- ($F(3,63) = 1.394$, $p = \text{n.s.}$, partielles $\eta^2 = 0.062$), Ordnungsaufgabe (Friedman-Test: Chi-Quadrat(3) = 4.059, $p = \text{n.s.}$, $n = 17$) und Wiedererkennungsaufgabe ($F(3,96) = 1.016$, $p = \text{n.s.}$, partielles $\eta^2 = 0.031$). Die Tabelle 5.3 zeigt die dazugehörige beschreibende Statistik.

Effizienz nach Aufgabentypen

Betrachtet man die Effizienz nach Aufgabentypen unabhängig von der Visualisierungsart, so unterscheiden sich die Aufgabentypen gemäss einer Varianzanalyse mit Messwiederholung signifikant voneinander (nach Greenhouse-Geisser: $F(1.637, 52.388) = 90.384$, $p < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.739$). Der paarweise Vergleich zeigt, dass sich alle Aufgaben signifikant voneinander unterscheiden ($p > 0.01$). Die mittlere Antwortzeit für die Ordnungsaufgabe ist am höchsten ($M = 49.27$, $SD = 20.40$), gefolgt von der Streckenidentifikations-

($M = 35.23$, $SD = 11.37$), der Richtungswechsel- ($M = 13.10$, $SD = 4.53$) und der Wiedererkennungsaufgabe ($M = 9.56$, $SD = 2.29$), welche die kürzeste mittlere Antwortzeit aufweist. Siehe Grafik 5.9.

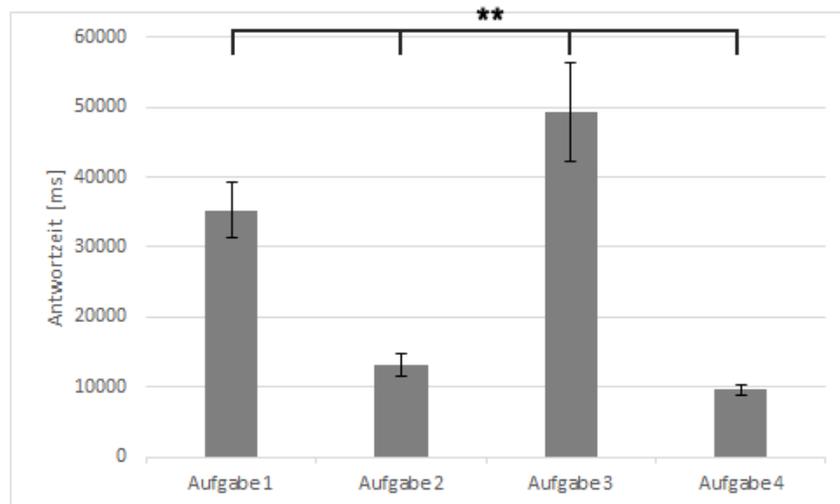


Abbildung 5.9.: Antwortzeit [in Millisekunden] über alle Visualisierungstypen hinweg (Mittelwerte und Fehlerbalken: $\pm 2SE$).

Die Auswertung, ob sich die Aufgaben innerhalb einer Visualisierungsart unterscheiden, ergab in allen Fällen einen signifikanten Unterschied: RC ($F(3,78) = 158.5$, $p < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.859$), RnC ($F(3,78) = 209.048$, $p < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.889$), AC (Friedman-Test: Chi-Quadrat(3) = 48.945, $p < 0.001$, $n = 22$) und AnC (nach Greenhouse-Geisser: $F(2.110, 29.541) = 79.785$, $p < 0.001$, partielles $\eta^2 = 0.851$). Die Tabelle (5.3) gibt einen Überblick über die beschreibende Statistik.

5.4. Räumliches Orientierungsvermögen

Alle Teilnehmenden nahmen am *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* von Hegarty et al. (2008) (siehe Anhang) teil, um ihr räumliches Orientierungsvermögen zu quantifizieren. Die Bewertung ergab sich aus der Abweichung (in Grad) zwischen der gegebenen und der korrekten Antwort. Daraus wurde anschliessend die mittlere Abweichung ($M = 23.79$, $SD = 16.95$) berechnet (Kozhevnikov und Hegarty, 2001). Eine hohe mittlere Abweichung beschreibt somit ein eher schlechteres räumliches Orientierungsvermögen und umgekehrt.

Um einen Zusammenhang zwischen dem räumlichen Orientierungsvermögen und den Re-

sultaten aus den gestellten Aufgaben zu finden, wurde hier kein Mediansplit (wie z.B. in Smallman und Cook (2011) oder Wilkening und Fabrikant (2011)), sondern eine Korrelation verwendet. Auf die mittlere Abweichung wurde eine Log-Transformation angewendet, um die Anzahl Ausreisser zu verringern (Field, 2009). Der Datensatz ist nicht normalverteilt, weshalb jeweils eine Spearman-Korrelation durchgeführt wurde.

Effektivität und Orientierungsvermögen

Zwischen der gesamten Antwortgenauigkeit (d.h. über alle Visualisierungs- und Aufgabentypen hinweg) und den Ergebnissen aus dem *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* (Hegarty et al., 2008) besteht kein signifikanter Zusammenhang ($p = \text{n.s.}$).

Betrachtet man die Korrelationen einzeln (d.h. ob ein Zusammenhang zwischen dem Orientierungsvermögen und einer Visualisierungsart oder einem Aufgabentyp existiert), so besteht lediglich zwischen der realistisch-farbigen Visualisierung (RC) und dem räumlichen Orientierungsvermögen eine signifikante Korrelation ($r_s = -0.346$, $p < 0.05$, $n = 33$). Die in diesem Datensatz enthaltenen Ausreisser hatten einen Einfluss auf die Signifikanz. Deshalb wurden die Werte der beiden Ausreisser gemäss Field (2009) verändert. Aber auch nach dieser Anpassung bleibt die signifikante Korrelation ($p < 0.05$) bestehen.

Zwischen der Antwortgenauigkeit bei den restlichen Visualisierungen bzw. Aufgabentypen und dem Orientierungsvermögen bestand jeweils kein signifikanter Zusammenhang ($p = \text{n.s.}$). Die in diesen Datensätzen enthaltenen Ausreisser hatten keinen Einfluss auf die Signifikanz.

Effizienz und Orientierungsvermögen

Die Korrelation nach Spearman ergibt beim Vergleich zwischen der gesamten Antwortzeit (d.h. unabhängig vom Visualisierungs- und Aufgabentyp) und dem räumlichen Orientierungsvermögen keinen signifikanten Zusammenhang ($p = \text{n.s.}$).

Bei der Korrelation zwischen der abstrakt-schwarzweissen Visualisierung (AnC) und dem räumlichen Orientierungsvermögen hatten die vorhandenen Ausreisser einen Einfluss auf die Signifikanz. Deshalb wurde auch hier der Wert der Ausreisser gemäss Field (2009) angepasst. Die darauf angewendete Spearman-Korrelation ergab nun aber keine signifikante Korrelation mehr ($p = \text{n.s.}$). Die Antwortzeiten bei den restlichen Visualisierungen bzw. Aufgabentypen korrelierten nicht mit dem räumlichen Orientierungsvermögen ($p = \text{n.s.}$).

5.5. Strategie

Zu jeder Visualisierungsart wurden die Teilnehmenden nach ihrer Strategie befragt. Tabelle 5.4 zeigt eine Übersicht über jene Möglichkeiten, sich die Streckenbeschreibung einzuprägen, die für alle Darstellungsarten anwendbar war.

Tabelle 5.4.: Anzahl Personen, welche die unterschiedlichen Strategien in der jeweiligen Visualisierungsart angewendet haben: Orientierung an der Gebäudeform, an der Anordnung der Objekte zueinander, Erstellen einer (mentalen) 2D-Karte oder Abzählen der Richtungswechsel.

	Gebäudeform	Gebäudeanordnung	(mentale) 2D-Karte	Abzählen
RC	4	1	11	23
RnC	6	1	12	21
AC	6	2	10	28
AnC	12	4	13	25

Neben den in der Tabelle genannten Strategien waren je nach Visualisierungsmethode auch noch weitere möglich. So orientierten sich in der realistisch-farbigen Umgebung 24 Personen an der Gebäudefarbe bzw. 27 an der Gebäudefassade. Bei der realistisch-schwarzweissen Visualisierung nutzten 30 Personen die Fassade als Orientierungshilfe. Gleich viele Teilnehmenden hielten sich bei der abstrakt-farbigen Darstellung an die Gebäudefarbe.

Die Teilnehmenden hatten zudem die Möglichkeit, ihre eigenen Strategien zu beschreiben. In der realistisch-farbigen und der realistisch-schwarzweissen Umgebung gaben sie an, sich hauptsächlich an der Beschriftung («Supermarket» bzw. «Coffee») oder anderen Fassadenelementen (z.B. Graffiti, Form einer Tür etc.) eines Gebäudes orientiert zu haben. In der abstrakteren Variante, der abstrakt-farbigen Visualisierung, gaben einige Teilnehmenden an, sich am Strassenverlauf oder an markanten Gebäudegeometrien wie z.B. jene beim Supermarkt orientiert zu haben. Bei der abstrakt-schwarzweissen Methode gaben sie an, auf die Schattierung oder Beleuchtung und der damit verbundenen Graustufen der Objekte geachtet zu haben. Des Weiteren betrachteten sie ebenfalls den Strassenverlauf (z.B. «nach der S-Kurve rechts abbiegen»). Zwei Personen gaben an, sich anhand der Strassenmarkierung orientiert zu haben.

5.6. Zusammenfassung der Resultate

Die Datenauswertung hat ergeben, dass sich die Präferenz der Teilnehmenden für eine bestimmte Visualisierungsart nur minim ändert. Der Grossteil bevorzugt vor und nach dem Experiment die realistisch-farbige Variante. Daneben präferierten einige Freiwillige neben der abstrakt-farbigen auch die realistisch-schwarzweisse Methode vor dem Experiment. Dies änderte sich jedoch, sodass nach der Studie die realistisch-schwarzweisse Darstellung gar nicht mehr präferiert wurde.

Die Resultate zur Effektivität ergaben, dass die realistischen Visualisierungen (realistisch-farbig und realistisch-schwarzweiss) generell die höchsten Antwortgenauigkeiten aufweisen, wobei die realistisch-farbige bis auf eine Ausnahme (in der Aufgabe 2) über der Genauigkeit der realistisch-schwarzweissen Abbildungsart liegt. Mit der abstrakt-schwarzweissen Methode wird ausser in Aufgabe 1 immer die tiefste Antwortgenauigkeit erreicht. Die abstrakt-farbige Variante liegt in allen Fällen zwischen den realistischen und der abstrakt-schwarzweissen Visualisierung.

Zudem hat sich gezeigt, dass die Existenz von Landmarken zu einer höheren Genauigkeit in den Aufgaben führt.

In Bezug auf die Effizienz der unterschiedlichen Abbildungsmethoden hat sich beim Gesamtvergleich gezeigt, dass die abstrakteren Arten zu schnelleren Antworten führen. Im Einzelvergleich fällt lediglich auf, dass die Freiwilligen die Aufgabe 3 mit einer abstrakteren Methode schneller beantworten. Bei den restlichen Aufgaben lässt sich kein Muster erkennen.

Zwischen dem räumlichen Orientierungsvermögen und der Effektivität bzw. Effizienz in den einzelnen Visualisierungsarten und Aufgaben existiert mit einer Ausnahme (Korrelation zwischen der Genauigkeit in der realistisch-farbigen Visualisierung und dem Orientierungsvermögen) kein Zusammenhang.

6. Diskussion

6.1. Forschungsfrage 1

Gemäss Kettunen et al. (2012) beschreibt der Begriff des *visuellen Realismus* die Ähnlichkeit einer Abbildung zur realen Welt. Es hat sich jedoch in verschiedenen Studien herausgestellt, dass man mit einer realitätsnahen Visualisierung nicht zwingend eine bessere Leistung erzielt, was auch als *naiver Realismus* bezeichnet wird (Smallman und Cook, 2011). Dies würde bedeuten, dass eine abstraktere Darstellungsmethode eines 3D-Stadtmodells das räumliche Lernen besser unterstützt als die realitätsnahe Variante.

Die vorliegende Studie hat tatsächlich gezeigt, dass der Realitätsgrad von 3D-Abbildungen einen signifikanten Effekt auf das Einprägen einer Routenbeschreibung hat. Der Gesamtvergleich der Visualisierungstypen, d.h. über alle gestellten Aufgaben hinweg, gibt an, dass die Teilnehmenden mit der realistisch-farbigen Methode die höchste Genauigkeit erreichten, denn damit wurden 71.78% aller Fragen korrekt beantwortet. In dieser Umgebung stehen den Teilnehmenden die meisten Informationen zur Verfügung und sie können sich die Route basierend auf ihrer eigenen Strategie einprägen. Des Weiteren entspricht der Inhalt am ehestens unserer Umwelt, wodurch der Interpretationsaufwand minimiert wird (Smallman und Cook, 2011). Wird nun die Farbinformation entfernt, so sinkt die Genauigkeit nur geringfügig (70.27%), was einem nicht signifikanten Unterschied entspricht. Neben den Fassadenelementen sind in dieser Visualisierungsart auch weiterhin die Beschriftungen (z.B. «Supermarket») lesbar. Dadurch kann den Objekten auch ohne Farbinformation eine Bedeutung zugewiesen werden. Ein Teilnehmer wies beispielsweise einem Gebäude die Bedeutung «Rathaus» zu, da für ihn die vorhandene Fassade typisch war für ein Rathaus. Andere Teilnehmende gaben an, nun auf spezielle Fassadenelemente wie z.B. die Form einer Tür oder Graffiti an der Wand zu achten. In gewissen Fällen scheint es also, dass sich die Personen sogar noch verstärkt mit der Charakteristik der Gebäude auseinandersetzen. Dadurch übernehmen die Details von Fassaden die Funktion von Landmarken

(Kettunen et al., 2012), was die Navigation erleichtert (Nys et al., 2015) und sich somit auch positiv auf das Abrufen einer zuvor eingepprägten Streckenbeschreibung auswirken könnte.

Der Unterschied in der Effektivität zwischen der abstrakt-farbigen (65.15% korrekte Antworten) und der realistisch-schwarzweissen (70.27%) Darstellung ist zwar statistisch nicht signifikant, aber doch deutlich grösser als zwischen der realistisch-farbigen und realistisch-schwarzweissen Methode. Daraus lässt sich der Einfluss der Textur erkennen: Es wird nun schwieriger, die Gebäude zu unterscheiden, da die blossе Farbinformation die Objekte nicht mehr so stark charakterisiert wie die Textur. Es gibt nun beispielsweise mehrere rot eingefärbte Objekte, wodurch die Aussage «beim roten Bürogebäude rechts abbiegen» zu Fehlern im Entscheidungsprozess führen kann, da die Verwechslungsgefahr zwischen den Objekten grösser wird. Den Teilnehmenden fehlt nun also eine wesentliche Information, um den Gebäuden eine Bedeutung zuweisen zu können (Richter und Winter, 2014), was sich gemäss Borkin et al. (2013) negativ auf die Erinnerung auswirken kann. Durch die Farbinformation wird aber dennoch ein deutlich besseres Resultat erzielt (65.15% korrekte Antworten), als wenn auch die Farben nicht mehr vorhanden sind, wie es in der abstrakt-schwarzweissen Umgebung der Fall ist (56.25% richtige Antworten).

Dass die abstrakt-schwarzweisse Visualisierungsmethode die tiefste mittlere Genauigkeit aufweist, ist wenig verwunderlich. Denn in dieser Visualisierung fehlt sowohl die Farbinformation als auch die Möglichkeit der Bedeutungszuweisung, was in der Literatur (z.B. Dzulkiifi und Mustafar (2013); Borkin et al. (2013)) als wichtige Grundlage für das Einprägen von Informationen betrachtet wird. Das Resultat zeigt aber auch, dass es selbst in einer solch eigenschaftslosen Umgebung nicht gänzlich unmöglich ist, sich eine Streckenbeschreibung einzuprägen. Die Teilnehmenden dürften sich somit vermehrt auf die Struktur der Stadt (z.B. Verlauf der Strassen) gestützt haben (Richter und Winter, 2014). Gemäss ihren Aussagen achteten die Freiwilligen nicht nur auf die Geometrie der Stadt oder die Form der Gebäude, sondern auch auf deren Beleuchtung bzw. Schattierung. Zwei Teilnehmende gaben sogar an, sich anhand der Strassenmarkierung orientiert zu haben. Wird der Informationsgehalt reduziert, sucht man sich andere Möglichkeiten, sich zu orientieren bzw. zu erinnern (Kamachi et al., 2009).

Insgesamt scheint also die Textur einen sehr starken Einfluss auf die Effektivität einer Darstellung zu haben, was den signifikanten Unterschied zwischen der abstrakt-schwarzweissen (AnC) und der realistisch-schwarzweissen (RnC) bzw. zwischen AnC und

der realistisch-farbigen (RC) Visualisierung erklärt. Die Farbinformation hat nur einen geringen Effekt, sofern eine Textur vorhanden ist (siehe Vergleich zwischen RC und RnC). Ist hingegen keine Textur vorhanden, so ist der Einfluss der Farbe ebenfalls stärker, führt aber dennoch nicht zu einem signifikanten Unterschied (siehe Vergleich AC und AnC).

Betrachtet man die Aufgabentypen einzeln und vergleicht innerhalb einer Aufgabe die Visualisierungsarten miteinander, so existieren keine signifikanten Unterschiede in der Streckenidentifikations- und Wiedererkennungsaufgabe. Die mittlere Antwortgenauigkeit der Streckenidentifikationsaufgabe zeigt, dass mit dem höchsten Abstraktionsgrad insgesamt sogar die höchste Genauigkeit (90.91%) erreicht wird im Vergleich zu den realistischen Abbildungen (RC und RnC jeweils 87.88%). Die Textur und Farbe scheinen also eher einen geringen Einfluss darauf zu haben, ob man aus seiner Erinnerung die 3D- in eine 2D-Ansicht transformieren kann. Fehlen sogar die Textur- und Farbinformationen, so achtet man möglicherweise verstärkt auf die Struktur der Stadt, was sich bei dieser Aufgabe positiv auf die Antwortgenauigkeit auszuwirken scheint.

Die Wiedererkennungsaufgabe eignet sich besonders, um das Erinnerungsvermögen zu überprüfen (Kettunen et al., 2012). Es zeigt, wie gut sich die Teilnehmenden an einen Ort erinnern können, was sehr entscheidend für die erfolgreiche Navigation ist. Denn anhand verschiedener Eigenschaften unserer Umwelt überprüfen wir, ob wir uns noch auf der korrekten Strecke befinden (Hirtle und Hudson, 1991). Der Einfluss von Textur und Farbe scheint dabei erstaunlicherweise nur einen geringen Einfluss zu haben. So nimmt die Antwortgenauigkeit mit zunehmendem Abstraktionsgrad zwar kontinuierlich ab, dies aber nur geringfügig: Bei der realistisch-farbigen Darstellungsmethode wurde insgesamt eine Antwortgenauigkeit von 88.89% erreicht, während in der abstrakt-schwarzweissen noch eine Genauigkeit von 80.81% erzielt wurde (siehe Tabelle 5.1). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant. Entscheidend für das Wiedererkennen eines Ortes könnte somit eher die Struktur der Umgebung (z.B. die Gebäudeanordnung) sein. Ist zudem die Textur- und Farbinformation vorhanden, so scheint die Verwechslungsgefahr zweier Orte geringer zu sein, da sie eindeutiger identifiziert werden können, was wiederum zu einer höheren Genauigkeit in den realistischeren Visualisierungen führt.

Im Gegensatz zur Streckenidentifikations- und Wiedererkennungsaufgabe existiert in der Richtungswechsel- und Ordnungsaufgabe ein signifikanter Unterschied zwischen den Visualisierungsarten. Bei der Richtungswechselaufgabe reicht es nicht mehr, wenn man einen Ort erkennt oder nicht (wie z.B. bei der Wiedererkennungsaufgabe). Denn zusätzlich muss

entschieden werden, wie man an jenem Punkt die Richtung ändern muss, um weiterhin der zuvor gezeigten Strecke zu folgen. Die statistische Untersuchung widerspiegelt den Gesamtvergleich: Die realistisch-farbige und realistisch-schwarzweisse Visualisierungen unterscheiden sich jeweils signifikant von der Genauigkeit der abstrakt-schwarzweissen Darstellungsmethode. Die Erklärung hierfür dürfte somit auch ähnlich sein: Ist eine Textur vorhanden, so hat diese einen starken Einfluss auf die Antwortgenauigkeit. Dies zeigt der Vergleich zwischen der realistisch-farbigen und realistisch-schwarzweissen Abbildung des Stadtmodells. Die Antwortgenauigkeit in der letzteren Abbildungsmethode ist mit 60.00% sogar noch über jener der realistisch-farbigen (59.39%). Auch wenn dieser Unterschied sehr gering ist, zeigt es auf, dass das Entfernen der Farbinformationen kaum einen Einfluss auf die Effektivität der Visualisierungsmethode hat, sofern eine Textur vorhanden ist. Solange die Fassaden der Objekte vorhanden sind, kann die Bedeutungszuweisung stattfinden, was sich positiv auf die Erinnerung an die Handlung an einem Ort auswirkt. Wird die Textur entfernt, so fällt die Genauigkeit stärker ab. Denn die Antwortgenauigkeit bei der farbig-abstrakten Darstellung liegt bei 52.73% und ist damit wesentlich tiefer als bei realistisch-schwarzweissen Visualisierungsart (60.00%). Sie ist aber noch deutlich höher als bei der abstrakt-schwarzweissen Methode (37.58%). Ist keine Textur vorhanden, so unterstützt die Farbinformation zwar die Erinnerung an die jeweilige Handlung (z.B. «links abbiegen») an einem Ort, kann aber nicht mit dem positiven Einfluss von Fassadentexturen mithalten.

Bei der Ordnungsaufgabe unterscheiden sich lediglich die realistisch-farbige und abstrakt-schwarzweisse Visualisierung voneinander. Betrachtet man die Mittelwerte der erzielten Genauigkeiten, so erkennt man, dass mit zunehmenden Abstraktionsgrad die Genauigkeit kontinuierlich sinkt. Dies könnte mit der Komplexität der Aufgabe zusammenhängen. Je mehr Details die Teilnehmenden zur Verfügung haben, desto eher wird ihnen das Lösen der Aufgabe erleichtert. Bei der abstrakt-schwarzweissen Methode scheint, aufgrund der Ähnlichkeit der Bilder, die Verwechslungsgefahr gross zu sein, wodurch die Fehleranfälligkeit erhöht wird. Es hat sich aber auch hier gezeigt, dass die Darstellungen mit Texturen insgesamt zu besseren Resultaten führen. Erschwerend dürfte in dieser Aufgabe jedoch gewesen sein, dass aufgrund der dargestellten Bildgrösse gewisse Details (z.B. Beschriftungen, Graffiti etc.) nicht mehr erkennbar waren. Dies könnte mitunter ein Grund sein, weshalb die realistisch-schwarzweisse Darstellung im Vergleich zur realistisch-farbigen Abbildung schlechter abgeschnitten hat, da gerade bei der ersteren verstärkt auf die Textur der Gebäude geachtet wird, da die Farbinformation fehlt.

Neben dem Vergleich der Visualisierungsarten wurden auch die Aufgabentypen miteinander verglichen. Im Gesamt- wie auch in den Einzelvergleichen hat sich gezeigt, dass zwischen der Streckenidentifikations- und der Wiedererkennungsaufgabe bzw. zwischen der Richtungswechsel- und der Ordnungsaufgabe jeweils keine signifikanten Unterschiede existieren, die Aufgaben sich sonst aber untereinander signifikant unterscheiden. Dies war zu erwarten, da sich die Komplexität der Fragestellungen stark unterscheidet. So müssen sich die Teilnehmenden bei der zweiten und dritten Aufgabe nicht nur daran erinnern, ob sie einen Ort gesehen haben oder nicht, sondern auch, in welche Richtung sie abbiegen müssen bzw. in welcher Reihenfolge die gezeigten Gebäude entlang der Strecke vorgekommen sind. Die vierte Aufgabe scheint den Freiwilligen leichter gefallen zu sein, da dieser Aufgabentyp lediglich auf die visuelle und nicht auch noch auf die räumliche Erinnerung zugreift. Ebenso erzielten die Teilnehmenden generell eine hohe Genauigkeit in der ersten Aufgabe. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sie gemäss den angegebenen Strategien vermehrt abgezählt haben, wie sie abbiegen müssen. Der Vergleich der Aufgabentypen beantwortet hingegen weniger die Forschungsfrage und wurde eher der Vollständigkeitshalber vorgenommen.

6.2. Forschungsfrage 2

Die statistische Auswertung ergab, dass sich gesamthaft betrachtet lediglich die abstrakt-schwarzweisse (AnC) und realistisch-schwarzweisse (RnC) Darstellungsvarianten in ihrer Effizienz signifikant unterscheiden. Zwischen der AnC und der realistisch-farbigen (RC) existiert kein signifikanter Unterschied, obwohl die Differenz zwischen den Mittelwerten grösser ist als zwischen der AnC und RnC Visualisierung. Dies könnte mit der stärkeren Streuung der Daten zusammenhängen. Betrachtet man die Mittelwerte, so zeigt sich, dass die Teilnehmenden mit zunehmenden Abstraktionsgrad schneller werden pro korrekt gelöster Frage. So benötigen sie in der realistisch-farbigen Abbildungsmethode durchschnittlich etwa fünf Sekunden länger als bei der abstrakt-schwarzweissen Visualisierung. Dies könnte mit der Komplexität der RC Visualisierung zusammenhängen, da diese durch die vorhandene Textur und Farbe die grösste Menge an Informationen beinhaltet. Durch den höheren Informationsgehalt überprüfen die Freiwilligen möglicherweise ihre Entscheidung nochmals anhand der vorhandenen Eigenschaften der Umgebung. Während man beispielsweise in der AnC Darstellung lediglich auf die Form der Gebäude achtet, betrachtet man in der RC Umgebung zusätzlich die Farbinformationen und Texturen. Eine

realistischere Abbildungsmethode scheint das räumliche Lernen also nicht zwingend zu unterstützen. Eine andere Erklärung wäre, dass den Teilnehmenden bei der AnC Darstellung zu wenige Informationen zur Verfügung stehen, sodass sie vermehrt spontan (nach Gefühl) entscheiden oder sogar raten anstatt auf «Ich weiss es nicht» zu klicken. Dadurch gelangen sie möglicherweise eher zufällig auf die korrekte Antwort, wofür sie weniger Zeit benötigen. Dies führt insgesamt aber zu einer tieferen Genauigkeit, wie die Auswertungen zur Effektivität gezeigt haben (siehe Kapitel 5.2).

Zwar scheinen die abstrakteren Visualisierungsmethoden also effizienter zu sein (die Antwortzeit nimmt mit zunehmendem Abstraktionsgrad ab), aber generell reduziert sich die Effektivität. Dadurch relativiert sich die Aussage, dass abstraktere Visualisierungsmethoden effizienter wären.

Vergleicht man die Visualisierungsarten innerhalb einer Aufgabe, so fällt generell kein eindeutiges Muster auf (siehe Tabelle 5.8). Einzige Ausnahme ist die Ordnungsaufgabe: Die Teilnehmenden scheinen hier mit einer abstrakteren Visualisierung schneller zu werden (der Unterschied zu den realistischeren Abbildungen ist aber nicht signifikant). Sie erreichten aber bei dieser Aufgabe mit zunehmendem Abstraktionsgrad eine deutlich tiefere Genauigkeit. Die Freiwilligen konnten bei dieser Aufgabe beispielsweise nur zwei statt alle fünf Bilder in die korrekte Reihenfolge bringen, was zwar zu einer schnelleren Antwortzeit, aber gleichzeitig zu einer tieferen Genauigkeit führte. Deshalb sollte auch hier die Effizienz der Visualisierungen in Relation mit der entsprechenden Genauigkeit gesetzt werden.

Wie bei der Effektivität wurde auch die Effizienz der einzelnen Aufgabentypen miteinander verglichen. Die statistischen Auswertungen ergaben, dass sich alle vier Typen signifikant unterscheiden. Dies ist wenig verwunderlich, da sie sich in ihrer Komplexität stark unterscheiden. So mussten die Teilnehmenden beispielsweise bei der Wiedererkennungsaufgabe lediglich entscheiden, ob sie einen Ort gesehen haben oder nicht, während sie bei der Ordnungsaufgabe für fünf Bilder entscheiden mussten, ob diese auf der Strecke liegen und in welcher Reihenfolge diese vorkommen. Der kognitive Aufwand ist bei der letzteren Aufgabe viel höher als bei der Wiedererkennungsaufgabe, was somit zu einem höheren Zeitbedarf führt.

6.3. Forschungsfrage 3

Die Existenz von Landmarken kann die Navigation im Raum erleichtern (Nys et al., 2015), insbesondere an Entscheidungspunkten wie beispielsweise einer Strassenkreuzung (Kettunen et al., 2012). Einen Ort kann man so in Verbindung mit einer spezifischen Handlung bringen (Wolbers und Hegarty, 2010). Gemäss Richter und Winter (2014) handelt es sich bei der Information, dass man «beim Supermarkt rechts abbiegen» muss, um eine viel effizientere Art und Weise der Wegbeschreibung als bei der Aussage «bei der dritten Kreuzung rechts abbiegen». Ähnlich dürfte es sich auch beim Einprägen einer Routenbeschreibung verhalten, was also bedeuten würde, dass sich Personen an Orten mit Landmarken öfter an den entsprechenden Richtungswechsel erinnern können. Um diesen Sachverhalt zu bestätigen, wurden in dieser Studie zwei Landmarken im Stadtmodell an Kreuzungen platziert. Es handelt sich dabei um einen Supermarkt (mit der Aufschrift «Supermarket») und ein Café (mit der Aufschrift «Coffee»). Diese beiden Referenzpunkte heben sich in allen Fällen (d.h. unabhängig von der Visualisierungsart) von der Umgebung ab; sei es farblich oder geometrisch. Die statistischen Auswertungen bestätigen, dass Landmarken an Entscheidungspunkten generell vermehrt zu korrekten Antworten führen. Landmarken haben also grundsätzlich einen positiven Einfluss auf das Einprägen von Routenbeschreibungen.

Betrachtet man die einzelnen Visualisierungstypen, so werden Fragen mit Landmarken immer signifikant korrekter gelöst als Fragen, bei denen keine Landmarken sichtbar waren. Die höchste Antwortgenauigkeit wird mit der realistisch-farbigen Umgebung erzielt. Mit zunehmendem Abstraktionsgrad verringert sich zwar auch die Genauigkeit der Antworten bei Fragen mit Landmarken, bleibt aber immer signifikant höher als bei jenen ohne Landmarken. Selbst in der abstrakt-schwarzweissen Darstellung ist der Unterschied signifikant. Das bedeutet, dass alleine die Geometrie ausreicht, um ein Objekt als Landmarke zu definieren.

Die Textur einer Landmarke scheint hier den grössten Einfluss zu haben. In der realistisch-farbigen Umgebung werden Fragen mit Landmarken in knapp 91% der Fälle korrekt beantwortet. Wird die Farbinformation entfernt (realistisch-schwarzweisse Visualisierungsart), so werden diese Fragen immer noch in 88% aller Fälle richtig beantwortet. Betrachtet man nun aber die Darstellungsmethoden ohne Textur, so fällt ein relativ starker Abfall in der Genauigkeit auf. In der abstrakt-farbigen werden nun noch etwa 65% und in der abstrakt-schwarzweissen Abbildung nur 46% der Fragen mit einer Landmarke richtig be-

antwortet. Ein Objekt wird ohne Textur nicht mehr als Supermarkt oder Café erkannt, wodurch der positive Effekt der Landmarke verringert aber nicht gänzlich eliminiert wird. Ist also eine Textur vorhanden, so scheint die Farbe nur einen geringen Einfluss zu haben. Dies erklärt den geringen Unterschied (etwa 3%) zwischen der realistisch-farbigen und der realistisch-schwarzweissen Methode. Denn mit Textur kann einem Objekt auch ohne Farbe immer noch eine Bedeutung zugewiesen werden. Möglicherweise stechen Objekte mit farbigen Texturen stärker ins Auge, was die Aufmerksamkeit und somit die Erinnerung erhöht (dies dürfte den Unterschied von 3% erklären). Ist hingegen gar keine Textur mehr vorhanden, so hat die Farbe einen stärkeren Einfluss auf die Genauigkeit, was den Unterschied von etwa 24% in der Genauigkeit zwischen der abstrakt-farbigen und der abstrakt-schwarzweissen Visualisierung erklärt.

Die Referenzpunkte haben also einen positiven Einfluss auf die Entscheidungsfindung. Sie erleichtern es den Teilnehmenden, sich an den Richtungswechsel der gezeigten Strecke zu erinnern. Die Textur scheint in diesem Fall den grössten Einfluss zu haben, da dadurch einer Landmarke z.B. durch dessen Beschriftung eine Bedeutung zugewiesen werden kann. Fehlt die Textur, so wird die Entscheidungsfindung zwar erschwert, aber die verbleibenden Informationen (Farbe, Geometrie) reichen immer noch aus, um der Route folgen bzw. sich an den korrekten Richtungswechsel erinnern zu können.

6.4. Forschungsfrage 4

Forschungen konnten zeigen, dass sich Personen in ihrer Fähigkeit zur Orientierung unterscheiden (Wolbers und Hegarty, 2010). Die Konstruktion einer mentalen Repräsentation des Raumes basierend auf einer virtuellen Umgebung ist vergleichbar mit jener aus der realen Navigation (Gyselinck et al., 2013), sodass die Ergebnisse aus dieser Studie also auch durch die Orientierungsfähigkeit der Teilnehmenden beeinflusst sein könnten. Es stellte sich somit die Frage, ob eine bestimmte Darstellungsart eines 3D-Stadtmodells einer Person mit einem guten bzw. schlechten räumlichen Orientierungsvermögen beim Einprägen einer Routenbeschreibung helfen kann.

Die statistische Auswertung hat gezeigt, dass zwischen der gesamten Antwortgenauigkeit (d.h. über alle Visualisierungs- und Aufgabentypen hinweg) und dem Orientierungsvermögen kein signifikanter Zusammenhang besteht. Dies hat sich auch in anderen Studien gezeigt, wo oftmals ebenfalls keine signifikante Korrelation gefunden wurde (Wolbers und

Hegarty, 2010). Es lässt sich also nicht bestätigen, dass sich beispielsweise Personen mit einem schlechten räumlichen Orientierungsvermögen die vorgegebene Route schlechter einprägen konnten als jene mit einem besseren Resultat im *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* (Hegarty et al., 2008).

Betrachtet man die Korrelationen jedoch einzeln, so zeigte sich, dass zwischen dem räumlichen Orientierungsvermögen und der Leistung bei der realistisch-farbigen Abbildungsmethode eine signifikante Korrelation existiert. Personen mit einem schlechteren Orientierungsvermögen scheinen mit dieser Darstellungsmethode also mehr Mühe zu haben als mit einer abstrakteren Variante. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sie von der Informationsfülle überfordert waren, während Andere eher davon profitiert haben. In diesem Fall trifft also die «Fähigkeitsverstärkende Hypothese» (engl.: *ability-as-enhancer-hypothesis*) gemäss Huk (2006) zu. Diese besagt, dass Personen mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen genügend kognitive Kapazitäten haben, um von einer bestimmten Darstellungsart bestmöglich profitieren zu können (Huk, 2006).

Bei den restlichen Visualisierungs- oder Aufgabentypen konnte keine signifikante Korrelation gefunden werden. Personen mit einem schlechten bzw. guten räumlichen Vorstellungsvermögen scheinen also nicht von einer bestimmten Visualisierung besonders profitiert zu haben. Ebenso scheint kein Aufgabentyp einer Personengruppe schwerer bzw. leichter gefallen zu sein.

Auch in Bezug auf die Effizienz konnten keine Korrelationen zwischen Visualisierungen oder Aufgaben und dem Orientierungsvermögen gefunden werden. Unabhängig vom Informationsgehalt einer Darstellung wurden also weder Personen mit einem guten noch solche mit einem geringen räumlichen Orientierungsvermögen gebremst bzw. beschleunigt.

6.5. Limitationen

Bei der Aufgabe, sich eine Routenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell einzuprägen, hat die vorliegende Studie insgesamt gezeigt, dass eine realitätsnahe Abbildungsmethode grundsätzlich eine höhere Effektivität aufweist. Die Genauigkeiten der Antworten der realistisch-farbigen bzw. realistisch-schwarzweissen Visualisierungsart sind oftmals vergleichbar. Folgende Punkte schränken die Aussagekraft der Studie jedoch ein, da durch deren Veränderung möglicherweise eine andere Aussage resultieren würde:

- An der Studie haben insgesamt 33 Personen teilgenommen. Gemäss Field (2009) gilt dies als eine grosse Stichprobengrösse. Dennoch würde eine höhere Anzahl an Teilnehmenden die Resultate verifizieren bzw. die Unterschiede stärker ausfallen lassen.
- Nahezu die Hälfte aller Freiwilligen (15 Personen) sind oder waren Studierende der Geographie. Die Resultate könnten durch deren Erfahrung in geographischen Themengebieten beeinflusst sein.
- Zur Quantifizierung, wie gut sich die Teilnehmenden die Strecke aus dem 3D-Modell einprägen konnten, wurden verschiedene Fragetypen verwendet (siehe Kapitel 4.2.7). Eine bessere Möglichkeit wäre allerdings, die Qualität der Erinnerung mit der Navigation in der realen Umgebung zu untersuchen.
- Um die maximale Experimentzeit von 60 Minuten einhalten zu können, wurde für das Lernen der Route im Modell ein Zeitlimit von vier Minuten vorgegeben. Würde man den teilnehmenden Personen kein solches Limit vorgeben, so könnten sie sich ohne Zeitdruck mit ihrer eigenen Strategie die Strecke einprägen. Dies könnte wiederum die Effektivität der Visualisierungsarten beeinflussen.
- Die erhaltenen Resultate könnten durch den Inhalt des Stadtmodells (Gebäudeanordnung, Gebäudetexturen etc.) beeinflusst sein. Um eine allgemeine Aussage über die Effektivität der gezeigten Visualisierungsmethoden vornehmen zu können, müsste die Studie mit variierendem Umgebungsinhalt reproduziert werden.
- Die Genauigkeit der Antworten könnte insbesondere bei der Ordnungsaufgabe durch die Qualität der gezeigten Grafiken negativ beeinflusst worden sein. Dadurch, dass die Bilder verkleinert dargestellt wurden, gingen möglicherweise wichtige Details (z.B. Graffitis an der Wand), welche für gewisse Teilnehmende hilfreich wären, verloren. Eine grössere Darstellung, beispielsweise ausgedruckt auf Papier, dürfte die Aufgabe somit nicht zusätzlich erschweren.

7. Schlussfolgerungen und weiterführende Forschung

Welcher Realitätsgrad erleichtert die Aufgabe, sich eine Strecke aus einem 3D-Stadtmodell einzuprägen? Ziel dieser Arbeit war es, vier verschiedene Visualisierungsarten in Bezug auf deren Effektivität und Effizienz miteinander zu vergleichen. Zudem wurde untersucht, ob das Vorhandensein von Landmarken (markanten Orten) sowie das räumliche Orientierungsvermögen einen Einfluss auf das Erinnern der Routenbeschreibung haben.

Effektivität

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass der Realitätsgrad tatsächlich einen Einfluss auf die Qualität der Erinnerung einer Streckenbeschreibung aus einem 3D-Stadtmodell hat. Die Visualisierung mit Textur und Farbe (realistisch-farbige Abbildungsmethode) erreichte generell die höchste Effektivität. Bei dieser Methode stehen den Probanden alle Informationen zur Verfügung, wodurch sie sich die Route mit ihrer eigenen Strategie ohne Einschränkungen einprägen können. Das Phänomen des *naïven Realismus* (Smallman und Cook, 2011) trifft in diesem Falle somit nicht zu. Die realistisch-schwarzweisse Visualisierung kann oftmals mit der realistisch-farbigen Variante mithalten. Die Effektivität unterscheidet sich nie signifikant bzw. übertrifft in einem Fall sogar jene der realistisch-farbigen Methode. Beim Vorhandensein von Texturen scheint die Farbinformation nur einen geringen Einfluss auf die Erinnerbarkeit zu haben. Anders verhält es sich, wenn die Textur nicht abgebildet ist. In diesem Fall sorgt die Farbe dafür, dass die Effektivität deutlich über jener der Darstellungsart ohne Farbe (abstrakt-schwarzweisse Methode) liegt; aber auch hier sind die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Letztere Darstellungsmethode erleichtert lediglich die Transformation von 3D- in 2D-Wissen (Aufgabe 1; siehe Kapitel 4.2.7), erzielt aber sonst jeweils die tiefste Genauigkeit.

Die Textur hat also einen positiven Einfluss: Für das Einprägen einer Routenbeschreibung

eignet sich eine realistische Abbildungsmethode des 3D-Stadtmodells, wobei die farbige Variante nur geringfügig effektiver ist als ihr schwarzweisses Pendant.

Effizienz

Neben der Effektivität wurde zusätzlich die Effizienz untersucht. Die benötigte Antwortzeit der Aufgaben stellt in diesem Falle ein Mass der Effizienz der unterschiedlichen Visualisierungen dar. Mit den realistischeren (realistisch-farbig und realistisch-schwarzweiss) Abbildungen benötigten die Teilnehmenden generell länger für eine Aufgabe als mit den abstrakten (abstrakt-farbig und abstrakt-schwarzweiss) Visualisierungen. Ein geringerer Informationsgehalt führte also dazu, dass die Probandinnen und Probanden weniger Zeit benötigten, um sich an die Routenbeschreibung zu erinnern. Setzt man dies in Relation zur Effektivität, so erkennt man, dass die Teilnehmenden zwar schneller waren, aber insgesamt auch eine tiefere Genauigkeit resultierte. Möglicherweise haben gewisse Teilnehmende beim Lösen der Aufgaben eher geraten, wodurch sie zwar schneller waren, aber auch eher zufällig die korrekte Antwort auswählten.

Ein höherer Realitätsgrad führte in dieser Studie also nicht zu einer höheren Effizienz. Dies könnte entweder mit dem höheren Informationsgehalt (die Teilnehmenden benötigen mehr Zeit, um alle Informationen zu verarbeiten) oder mit der Art und Weise, wie die Freiwilligen die Aufgaben gelöst haben (z.B. raten), zusammenhängen. Die Resultate müssten also mit einer weiteren Studie verifiziert werden.

Landmarken

Existiert an einem Entscheidungspunkt (z.B. einer Kreuzung) eine Landmarke, so führte dies in allen Visualisierungsarten zu signifikant weniger Fehlern beim Verfolgen der vorgegebenen Route als wenn keine Landmarken vorhanden waren. Dass eine Landmarke als solche erkannt wird, hängt nicht nur von der Textur und Farbe ab: Denn auch in der abstrakt-schwarzweissen Darstellung führten Landmarken zu einer signifikant geringeren Fehlerquote. Wie bei der generellen Effektivität widerspiegelt sich hier der Effekt der Textur bzw. Farbe, wobei die realistischeren Abbildungsvarianten eine höhere Genauigkeit aufweisen (siehe Tabelle 5.2). Dies könnte damit zusammenhängen, dass man sich Elemente, denen man eine Bedeutung zuweisen kann, besser einprägen kann (Borkin et al., 2013). Dadurch erinnerten sich die Teilnehmenden auch an die damit verbundene Handlung («beim Café muss ich links abbiegen»).

Landmarken führen folglich zu weniger Fehlern in der Navigation, unabhängig von der Darstellungsart: In der abstrakt-schwarzweissen Abbildungsvariante reichte die geometrische Komponente aus, um ein Objekt als eine Landmarke zu identifizieren.

Räumliches Orientierungsvermögen

Die Qualität des räumlichen Orientierungsvermögens (ermittelt mit dem *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* von Hegarty et al. (2008)) wurde in Korrelation zur Effektivität bzw. Effizienz der Visualisierungs- und Aufgabentypen gesetzt. Generell existiert jedoch kein Zusammenhang, was bedeutet, dass Personen mit einem guten räumlichen Orientierungsvermögen mit keiner Visualisierung (bzw. Aufgabe) effektiver oder effizienter sind als solche mit einem schlechteren Orientierungsvermögen. Einzige Ausnahme bildet die statistisch signifikante Korrelation zwischen der realistisch-farbigen Visualisierungsart und dem Orientierungsvermögen. Es scheint, dass Personen mit einem schlechteren Orientierungsvermögen eine tiefere Genauigkeit in den Aufgaben mit der realistisch-farbigen Visualisierung erzielten, was möglicherweise auf den zu hohen Informationsgehalt zurückgeführt werden kann. Diese Probandinnen und Probanden dürften kognitiv überlastet gewesen sein, was zu einer schlechteren Leistung mit dieser Abbildungsmethode führte.

Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass das räumliche Orientierungsvermögen nicht mit der Effektivität oder Effizienz korreliert. Die beschriebene Korrelation bildet eine Ausnahme und müsste in einer neuen Studie reproduziert werden.

Weiterführende Forschung

Diese Studie beschränkte sich auf die Untersuchungen im Labor. Die weiterführende Forschung könnte einen Schritt weiter gehen und die Qualität des angeeigneten räumlichen Wissens mit der Navigation in der realen Umgebung untersuchen (Kettunen et al., 2012). Allerdings wird dadurch einerseits der Zeitbedarf pro Teilnehmerin bzw. Teilnehmer größer und andererseits besteht die Gefahr, dass die Freiwilligen mit der Umgebung bereits vertraut sind, wodurch die Resultate verfälscht werden würden.

Eine weitere Möglichkeit, diese Studie weiterzuführen, besteht in der Analyse der Augenbewegungen. Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Interpretationen basieren lediglich auf den Resultaten der Aufgaben. Die Untersuchung der Augenbewegungen könnte die Interpretation der Resultate zusätzlich bestätigen (oder widerlegen) und weitere Hinweise darüber geben, welche Elemente in der Visualisierung betrachtet werden und somit

potenziell wichtig für das Einprägen der Streckenbeschreibung sind.

Des Weiteren wäre der Vergleich zwischen einer 2D- und einer 3D-Visualisierung interessant. Der Einfluss des Realitätsgrades von 2D-Abbildungen wurde beispielsweise in der Arbeit von Francelet (2014) untersucht. Mit welcher Darstellungsart könnten sich die Probanden eine Streckenbeschreibung besser einprägen bzw. anschliessend in der Praxis umsetzen? Mit der eher konventionellen 2D-Karte oder mit einem 3D-Stadtmodell?

Literatur

- 93i. (2016). 93i. Zugriff unter <https://93i.de/de/p/free-skybox-texture-set>
- Adobe. (2016). Adobe. Zugriff unter http://www.adobe.com/ch_de/products/photoshop.html
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556.
- Bertin, J. (1983). *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. University of Wisconsin press.
- Borkin, M. A., Vo, A. A., Bylinskii, Z., Isola, P., Sunkavalli, S., Oliva, A. & Pfister, H. (2013). What makes a visualization memorable? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2306–2315.
- Cervenka. (2016). Cervenka. Zugriff unter <http://www.geo.uzh.ch/~tcervenk/msc-thesis>
- CL3VER. (2016). Cl3ver. Zugriff unter <https://www.cl3ver.com>
- ColorThief. (2016). Colorthief. Zugriff unter <http://lokeshdhakar.com/projects/color-thief>
- Çöltekin, A., Fabrikant, S. I. & Lacayo, M. (2010). Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(10), 1559–1575.
- Darken, R. P., Allard, T. & Achille, L. B. (1998). Spatial orientation and wayfinding in large-scale virtual spaces: an introduction. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(2), 101–107.
- Döllner, J. (2007). Non-photorealistic 3d geovisualization. In *Multimedia cartography* (S. 229–240). Springer.
- Doodle. (2016). Doodle. Zugriff unter <http://doodle.com/de>
- Doorn, R. R. & Blokland, A. (2014). Unhindered spatial processing during route memorization is required to maximize both spatial and verbal route knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 28(1), 22–29.
- Dzulkipli, M. A. & Mustafar, M. F. (2013). The influence of colour on memory performance: a review. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*, 20(2), 3.

- Earth, G. (2016). Google earth. Zugriff unter <https://www.google.ch/intl/de/earth>
- ESRI. (2016). Esri. Zugriff unter <http://www.esri.com/software/cityengine>
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using spss*. Sage publications.
- Francelet, R. (2014). Realism and individual differences in route-learning.
- Gyselinck, V., Meneghetti, C., Bormetti, M., Orriols, E., Piolino, P. & De Beni, R. (2013). Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive processing*, 14(3), 309–316.
- Hegarty, M., Kozhevnikov, M. & Waller, D. (2008). Perspective taking/spatial orientation test. *University California Santa Barbara*. Zugriff unter http://spatiallearning.org/resource-info/Spatial_Ability_Tests/PTSOT.pdf
- Hegarty, M., Smallman, H. S., Stull, A. T. & Canham, M. S. (2009). Naive cartography: how intuitions about display configuration can hurt performance. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 44(3), 171–186.
- Hegarty, M. & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175–191.
- Hirtle, S. C. & Hudson, J. (1991). Acquisition of spatial knowledge for routes. *Journal of Environmental Psychology*, 11(4), 335–345.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3d models? the case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(6), 392–404.
- Kamachi, T., Asami, Y. & Okabe, A. (2009). A study of the route-memorizing mechanism: experiments through computer-aided walking simulation. *New Frontiers in Urban Analysis: In Honor of Atsuyuki Okabe*, 51–63.
- Kettunen, P., Irvankoski, K., Krause, C. M., Sarjakoski, T. & Sarjakoski, L. T. (2012). Geospatial images in the acquisition of spatial knowledge for wayfinding. *Journal of Spatial Information Science*, 2012(5), 75–106.
- Kozhevnikov, M. & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29(5), 745–756.
- Lloyd, J., Persaud, N. V. & Powell, T. E. (2009). Equivalence of real-world and virtual-reality route learning: a pilot study. *Cyberpsychology & Behavior*, 12(4), 423–427.
- Martin, D. W. (2008). *Doing psychology experiments*. Cengage Learning.
- Meijer, F., Geudeke, B. L. & Van den Broek, E. L. (2009). Navigating through virtual environments: visual realism improves spatial cognition. *CyberPsychology & Behavior*, 12(5), 517–521.

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Moffat, S. D., Zonderman, A. B. & Resnick, S. M. (2001). Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of aging*, 22(5), 787–796.
- Montello, D. (2005). Navigation. *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, 257–294.
- Nys, M., Gyselinck, V., Orriols, E. & Hickmann, M. (2015). Landmark and route knowledge in children’s spatial representation of a virtual environment. *Frontiers in psychology*, 5.
- OSM. (2016). Osm. Zugriff unter <http://www.openstreetmap.org>
- Pazzaglia, F. & De Beni, R. (2006). Are people with high and low mental rotation abilities differently susceptible to the alignment effect? *Perception*, 35(3), 369–383.
- Richter, K. F. & Winter, S. (2014). *Landmarks: giscience for intelligent services*. Springer Science & Business.
- Schmidt, M. A. R., Delazari, L. S. & Mendonça, A. (2012). Evaluation of use of 3d maps in virtual navigation. *Proceedings of AutoCarto 2012*, 16–18.
- Siegel, A. W. & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in child development and behavior*, 10, 9–55.
- Slater, M., Khanna, P., Mortensen, J. & Yu, I. (2009). Visual realism enhances realistic response in an immersive virtual environment. *IEEE computer graphics and applications*, 29(3), 76–84.
- Smallman, H. S. & Cook, M. B. (2011). Naive realism: folk fallacies in the design and use of visual displays. *Topics in cognitive science*, 3(3), 579–608.
- SPSS. (2016). Spss. Zugriff unter <https://www-01.ibm.com/software/de/analytics/spss/products/statistics>
- StreetView, G. (2016). Google streetview. Zugriff unter <https://www.google.ch/intl/de/streetview/understand>
- Studio, T. (2016). Tobii studio. Zugriff unter <http://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-studio>
- SurveyMonkey. (2016). Surveymonkey. Zugriff unter <https://de.surveymonkey.com>
- TeamViewer. (2016). Teamviewer. Zugriff unter <https://www.teamviewer.com/de>
- Textures. (2016). Textures. Zugriff unter <http://www.textures.com>
- TX300, T. (2016). Tobii tx300. Zugriff unter <http://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-tx300>

-
- Van Asselen, M., Fritschy, E. & Postma, A. (2006). The influence of intentional and incidental learning on acquiring spatial knowledge during navigation. *Psychological Research*, *70*(2), 151–156.
- Vandenberg, S. G. & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*.
- Wang, H. C., Chang, C. Y. & Li, T. Y. (2007). The comparative efficacy of 2d-versus 3d-based media design for influencing spatial visualization skills. *Computers in Human Behavior*, *23*(4), 1943–1957.
- Wichmann, F. A., Sharpe, L. T. & Gegenfurtner, K. R. (2002). The contributions of color to recognition memory for natural scenes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *28*(3), 509.
- Wilkening, J. & Fabrikant, S. I. (2011). The effect of gender and spatial abilities on map use preferences and performance in road selection tasks. In *Proceedings of the international cartographic conference* (S. 232–242).
- Wilkening, J. & Fabrikant, S. I. (2011b). How do decision time and realism affect map-based decision making? In *International conference on spatial information theory* (S. 1–19). Springer.
- Wolbers, T. & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends in cognitive sciences*, *14*(3), 138–146.
- Wolfe, J. M. & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature reviews neuroscience*, *5*(6), 495–501.

A. Anhang

Einwilligungsformular

Universität Zürich - Teilnehmerinformation und Einwilligungsfomular „Einfluss des Realitätsgrades einer perspektivischen Darstellung auf die Merkfähigkeit einer Routenbeschreibung“
Mai/Juni 2016
Teilnehmernummer:

Zweck der Studie

Bei dieser Studie soll untersucht werden, inwiefern der Realitätsgrad von perspektivischen Darstellungen einen Einfluss auf das Einprägen einer Routenbeschreibung hat. Es sollen somit Erkenntnisse gewonnen werden, um die Darstellung von 3D-Visualisierungen zu optimieren.

Ablauf der Studie und damit verbundene Risiken

Falls Sie sich entscheiden an der Studie teilzunehmen, vervollständigen Sie zuerst einen Fragebogen mit Fragen zu Ihrer Person. Im Anschluss werden Sie gebeten, einen Test auf Papier auszufüllen. Dieser Test untersucht, wie Sie sich im Raum orientieren können. Danach wechseln Sie an den Computer und werden dort einer vorgegebenen Route in einem virtuellen Stadtmodell folgen. Ihre Interaktion mit dem Computer wird dabei mit Hilfe einer Kamera, eines Mikrofons und eines Blickregistrierungssystems („Eye-Tracker“) aufgezeichnet. Das Blickregistrierungssystem ermöglicht es, Ihre Augenbewegungen ohne jeglichen Körperkontakt aufzuzeichnen. Dazu wird ein nicht sichtbares Licht (im nahen Infrarotbereich) verwendet, das keine unangenehmen Auswirkungen hat. Am Schluss wechseln Sie wieder den Computer; es folgt ein letzter Fragebogen.

Der Versuch dauert in der Regel maximal 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 anonymisiert an Dritte weitergegeben. Mit Ihrer Unterschrift erlauben Sie uns, die Ergebnisse des Versuchs mehrmals zu publizieren. Dabei werden keinerlei Informationen veröffentlicht, die es ermöglichen, Sie zu identifizieren.

Abfindung

Wir bieten keine Entschädigung für die Teilnahme an der Studie an. Auch Kosten, die Ihnen für die Teilnahme an der Studie entstehen, werden nicht erstattet.

Bekanntgabe der Ergebnisse

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

Einwilligung

Ihre Entscheidung, an der Studie teilzunehmen oder nicht, wird etwaige 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 Dr. Arzu Coltekin (044 635 54 40, arzu@geo.uzh.ch) diese gerne beantworten.

Sie erhalten eine Kopie dieses Dokuments.

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

.....
Unterschrift des Teilnehmers

.....
Unterschrift des Experimentleiters

.....
Vor- und Nachname in Blockschrift

TOBIAS CERVENKA
Vor- und Nachname des Experimentleiters

.....
Ort / Datum

WIDERRUF DER EINWILLIGUNG

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

.....
Unterschrift

.....
Ort / Datum

.....
Vor- und Nachname in Blockschrift

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 *Dr. Arzu Coltekin, Geographische Informationsvisualisierung und Analyse, Departement für Geographie, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 140, 8057 Zürich* senden.

Vorfragebogen

TC_pre_vS
Informationen zur Studie I
<p>Herzlich Willkommen!</p> <p>Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Studie im Rahmen der Masterarbeit von Tobias Cervenka am geographischen Institut der Universität Zürich (GIUZ). Die nachfolgende Datenerhebung wird maximal 1 Stunde dauern.</p> <p>Szenario</p> <p>Folgendes Szenario sollte während der gesamten Studie gelten: Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich in einer fremden Umgebung (z.B. in einer fremden Stadt im Ausland). Sie stehen momentan beim Ausgangspunkt A und möchten nun zu Ihrem Zielort B gelangen. Aus verschiedenen Gründen steht Ihnen eine mobile Kartenapplikation aber nicht zur Verfügung (z.B. kein Internetzugriff im Ausland, Gerät hat keine Batterie mehr,...). Sie haben aber Glück und finden bei Ihrem Ausgangspunkt A einen "Info-Kiosk". Dieser "Info-Kiosk" besteht aus einem einfachen Bildschirm, über den Sie auf das virtuelle Stadtmodell zugreifen können. Der Computer hat für Sie bereits die geeignete Route von A nach B berechnet; dieser Route können Sie nun virtuell folgen.</p> <p>Das Ziel ist nun also, dass Sie sich die im Stadtmodell gezeigte Route so gut wie möglich <i>einprägen</i>. Anhand von verschiedenen Fragen wird im Anschluss überprüft, wie gut Sie sich die Route merken konnten.</p> <p>Klicken Sie nun auf "Weiter", um zur "Bedienungsanleitung" zu gelangen.</p>

Informationen zur Studie II

Bedienungsanleitung

Sie sehen das Stadtmodell aus einer egozentrischen Perspektive (ähnlich wie bei *Google StreetView*). Die Kamera folgt dabei der Route automatisch; Sie können sich also nur vorwärts/rückwärts bewegen sowie die Blickrichtung beliebig ändern.

Folgende Möglichkeiten zur Navigation stehen Ihnen somit zur Verfügung:

- Auf dem Bildschirm erscheinen auf der rechten Seite in der Mitte zwei Pfeile: ein Pfeil zeigt nach oben (nachfolgend: "Pfeil nach oben") und der andere zeigt nach unten (nachfolgend: "Pfeil nach unten").
- Mit einem Klick auf den "Pfeil nach oben" gelangen Sie zum nächsten Kamerapunkt (Sie bewegen sich vorwärts).
- Mit einem Klick auf den "Pfeil nach unten" gelangen Sie zum vorherigen Kamerapunkt (Sie bewegen sich rückwärts).
- Sie können sich an einem Kamerapunkt frei umsehen, indem Sie die rechte Maustaste gedrückt halten und die Maus bewegen.
- Die Route ist in der Umgebung nicht eingezeichnet; die Kamera folgt dieser jedoch automatisch.
- Zu Beginn zeigt die Kamera in den Himmel. Mit einem Klick auf den "Pfeil nach oben" gelangen Sie zu Ihrem Ausgangspunkt. Nach dem Ziel zeigt die Kamera wiederum in den Himmel und die Route kann mit einem Klick auf den "Pfeil nach oben" erneut gestartet werden. Dies signalisiert also, dass Sie die Route beendet haben und somit wieder zum Ausgangspunkt zurückkehren.

Klicken Sie nun auf "Weiter", um zu den "Regeln" zu gelangen.

Informationen zur Studie III

Regeln

Halten Sie sich beim Erkunden der Route bitte an folgende Regeln (die Regeln sind auch auf Papier nochmals ausgelegt, so dass Sie bei Bedarf darauf zurückgreifen können):

- Sie dürfen die Route in der virtuellen Umgebung maximal *zwei Mal* durchlaufen.
- Verwenden Sie zur Navigation lediglich die *Maus* (und nicht die Tastatur).
- Sie dürfen sich jeweils an einem Punkt mit Hilfe der Maus *frei umsehen*.
- Sie dürfen nur jeweils *zwei Schritte* zurück (indem Sie mit der Maus zwei Mal auf den "Pfeil nach unten" klicken).
- Es besteht ein Zeitlimit von *vier Minuten*. Innerhalb dieser Zeit dürfen Sie die Route *maximal zwei Mal* durchlaufen.

Im Anschluss an die Lernphase im virtuellen Stadtmodell folgen einige Aufgaben, die überprüfen sollen, wie gut Sie sich die Route einprägen konnten.

Klicken Sie auf "Weiter", sobald Sie sich die Regeln verinnerlicht haben.

Informationen zur Studie IV

Alles klar?

Bitte stellen Sie allfällige Fragen nun dem Versuchsleiter.

Sind Sie bereit? Dann können Sie nun mit dem nachfolgenden Fragebogen, welcher einige Fragen zu Ihrer Person beinhaltet, beginnen.
Viel Erfolg!

*** 1. Bitte bestätigen:**

- Ich habe die Informationen zum *Szenario*, der *Bedienung* und zu den *Regeln* verstanden und *offene Fragen* geklärt.

Informationen über den/die TeilnehmerIn

*** 2. ID TeilnehmerIn (wird durch den Versuchsleiter ausgefüllt):**

*** 3. Geschlecht:**

- weiblich
 männlich

*** 4. Alter:**

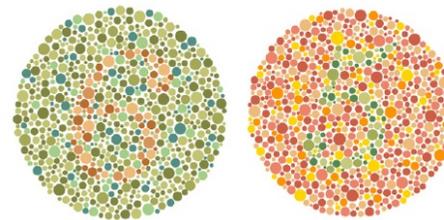
*** 5. Wie viele Stunden haben Sie (ungefähr) in der Nacht auf heute geschlafen?**

*** 6. Wurde bei Ihnen durch einen Arzt/Optiker eine Sehschwäche festgestellt?**

Wenn ja, welche?

- Nein
 Ja (bitte hier ausführen - z.B. Farbenblindheit, BrillenträgerIn, etc.)

*** 7. Welche zwei Nummern sehen Sie in den nachfolgend abgebildeten Kreisen? (Bitte trennen Sie die beiden Zahlen im Eingabefeld mit einem Komma)**



*** 8. Wie erfahren sind Sie in den folgenden Bereichen?**

	1 Keine Erfahrung	2	3	4	5 Sehr erfahren (tägliches Umgang)
Kartographie	<input type="radio"/>				
Geographie	<input type="radio"/>				
Andere mit der Geographie verwandte Disziplinen (wie z.B. Geologie, Geoinformatik, Raumplanung,...)	<input type="radio"/>				
3D (Geo-) Visualisierungen (z.B. Google Earth, 3D-Stadtmodelle,...)	<input type="radio"/>				
Google StreetView	<input type="radio"/>				
3D-Computerspiele	<input type="radio"/>				

*** 9. Was ist Ihre derzeitige Haupttätigkeit? Bitte in der Textbox genauer ausführen (z.B. "Geographiestudent", "Sachbearbeiter",...)**

- Student
 berufstätig
 keine Angaben

Bitte hier genauer ausführen:

*** 10. Wie oft verwenden Sie Google StreetView?**

- wenn immer möglich
 häufig
 gelegentlich
 selten
 nie

6

*** 11. Aus welchen Gründen verwenden Sie Google StreetView?**

- Erkunden der lokalen Infrastruktur
 Als Orientierungshilfe unterwegs
 Als Routenplaner
 Andere Gründe (hier eintragen):

*** 12. Wann verwenden Sie Google StreetView?**

- Vor einer Aktivität (z.B. einen Ort betrachten, bevor man diesen besucht)
 Während einer Aktivität (z.B. als Navigationshilfe in einer Stadt)
 Nach einer Aktivität
 Anders (bitte ausführen):

*** 13. Wie empfinden Sie den Informationsgehalt von Google StreetView?**

- zu hoch (bitte begründen Sie z.B. mit "enthält störende Elemente wie Vegetation, Fahrzeuge,...")
 genau richtig
 zu tief (bitte begründen Sie)

Bitte begründen Sie, weshalb der Informationsgehalt "zu hoch" bzw. "zu tief" ist:

*** 14. Stellen Sie sich vor, Sie müssten sich in einer virtuellen Umgebung eine vorgegebene/signalisierte Route einprägen. Welche der folgenden Darstellungsarten würden Sie für diese Aufgabe wählen?**

- NR. 1 (farbig, realistisch)
 NR. 2 (schwarz-weiss, realistisch)
 NR. 3 (farbig, abstrakt)
 NR. 4 (schwarz-weiss, abstrakt)

7



NR. 1



NR. 2



NR. 3



NR. 4

Ende

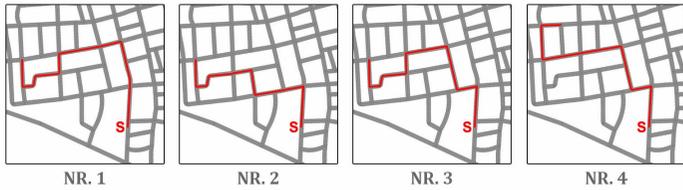
Vielen Dank! Es folgt nun der nächste Block des Experiments.

Fragebogen Typ A

TC_Q1A_RC_vS
TC_Q1A_RC_vS Information zum/zur TeilnehmerIn
<p>* 1. ID TeilnehmerIn (wird durch den Versuchsleiter ausgefüllt):</p> <input type="text"/>

* 2. Welche der folgenden Kartenausschnitte bildet die zuvor gezeigte Route korrekt ab? (S = Startpunkt)

NR. 1 NR. 2 NR. 3 NR. 4 Ich weiss es nicht



* 3. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

* 4. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links geradeaus rechts Dies ist mein Zielort Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route Ich weiss es nicht



* 5. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

TC_Q1A_RC_vS

TC_Q1A_RC_vS | Fragebogen (Typ A)

* 6. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links geradeaus rechts Dies ist mein Zielort Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route Ich weiss es nicht



* 7. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

4

TC_Q1A_RC_vS

TC_Q1A_RC_vS | Fragebogen (Typ A)

* 8. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links geradeaus rechts Dies ist mein Zielort Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route Ich weiss es nicht



* 9. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher eher unsicher eher sicher sehr sicher

5

* 10. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links	geradeaus	rechts	Dies ist mein Zielort	Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route	Ich weiss es nicht
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				



* 11. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher	eher unsicher	eher sicher	sehr sicher
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 12. Wie müssten Sie bei der folgenden Abbildung abbiegen, um auf der zuvor gezeigten Route zu bleiben?

links	geradeaus	rechts	Dies ist mein Zielort	Dieser Ort liegt gar nicht auf der Route	Ich weiss es nicht
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				



* 13. Bezogen auf die vorherige Frage: Wie sicher sind Sie sich mit Ihrer Antwort?

sehr unsicher	eher unsicher	eher sicher	sehr sicher
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 14. Bringen Sie folgende Bilder in die korrekte Reihenfolge. Beginnen Sie mit jenem Ort, dem Sie auf der Route als *erstes* begegnet sind. Nennen Sie die Nummer eines Ortes *nicht*, wenn der Ort gar nicht auf der Route liegt. Geben Sie ins Feld ein X ein, falls Sie diese Frage nicht beantworten können. (Bitte trennen Sie die Zahlen im Eingabefeld jeweils mit einem Komma)



NR. 1



NR. 2



NR. 3



NR. 4



NR. 5

* 15. Mit welcher/welchen Strategie(n) haben Sie versucht, sich die Route *indieser* Umgebung zu merken?

- Ich habe mich an der *Form* eines Gebäudes orientiert (z.B. beim U-förmigen Gebäude rechts abbiegen)
- Ich habe mich an der *Farbe* eines Gebäudes orientiert (z.B. beim roten Gebäude rechts abbiegen)
- Ich habe mich an der *Fassade* eines Gebäudes orientiert (z.B. beim Bürogebäude rechts abbiegen)
- Ich habe mich an der *Anordnung* der Gebäude orientiert (z.B. bei den zueinander senkrecht stehenden Gebäude rechts abbiegen)
- Ich habe mir die Umgebung in einer (mentalen) 2D-Karte vorgestellt
- Ich habe abgezählt, nach wie vielen Kreuzungen ich wie abbiegen muss (z.B. "... nach weiteren 2 Kreuzungen muss ich rechts abbiegen")
- Haben Sie eine andere, eigene Strategie angewendet, um sich die Route zu merken? Bitte hier ausführen.

TC_Q1A_RC_vS

TC_Q1A_RC_vS | Ende

Vielen Dank! Es folgt nun der nächste Block des Experiments.

Fragebogen Typ B

TC_Q1B_RC_vS
TC_Q1B_RC_vS Information zum/zur TeilnehmerIn
<p>* 1. ID TeilnehmerIn (wird durch den Versuchsleiter ausgefüllt):</p> <input type="text"/>

* 2. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



* 3. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



* 4. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



* 5. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



* 6. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



* 7. Haben Sie den folgenden Ort in der soeben gezeigten Umgebung gesehen?

definitiv nicht eher nicht eher ja definitiv ja Ich weiss es nicht



Vielen Dank! Es folgt nun der nächste Block des Experiments.

Perspective Taking/Spatial Orientation Test

Spatial Orientation Test

This is a test of your ability to imagine different perspectives or orientations in space. On each of the following pages you will see a picture of an array of objects and an “arrow circle” with a question about the direction between some of the objects. For the question on each page, you should imagine that you are standing at one object in the array (which will be named in the center of the circle) and facing another object, named at the top of the circle. Your task is to draw an arrow from the center object showing the direction to a third object from this facing orientation.

Look at the sample item on the next page. In this item you are asked to imagine that you are standing at the flower, which is named in the center of the circle, and facing the tree, which is named at the top of the circle. Your task is to draw an arrow pointing to the cat. In the sample item this arrow has been drawn for you. In the test items, your task is to draw this arrow. Can you see that if you were at the flower facing the tree, the cat would be in this direction? Please ask the experimenter now if you have any questions about what you are required to do.

There are 12 items in this test, one on each page. For each item, the array of objects is shown at the top of the page and the arrow circle is shown at the bottom. Please do not pick up or turn the test booklet, and do not make any marks on the maps. Try to mark the correct directions but do not spend too much time on any one question.

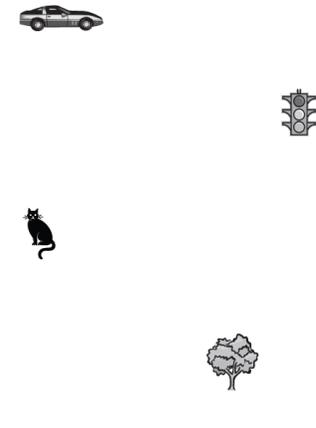
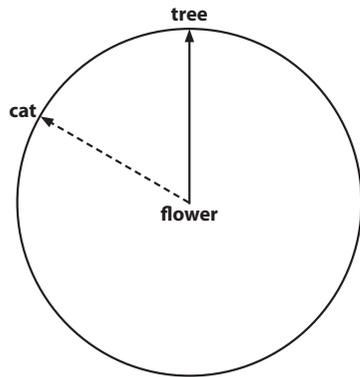
You will have 5 minutes for this test.

Spatial Orientation Test

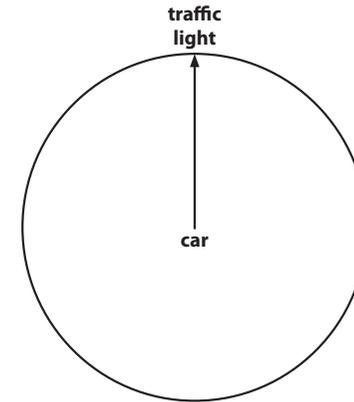
Name: _____



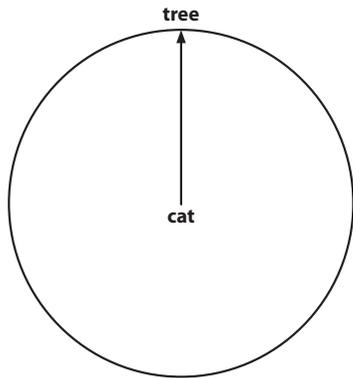
Example:
Imagine you are standing at the **flower** and facing the **tree**.
Point to the **cat**.



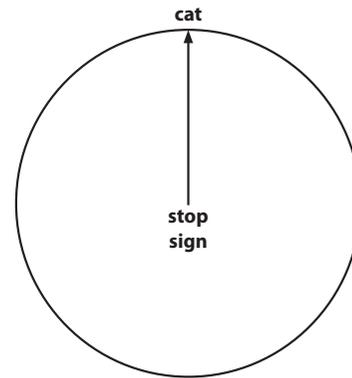
1. Imagine you are standing at the **car** and facing the **traffic light**.
Point to the **stop sign**.



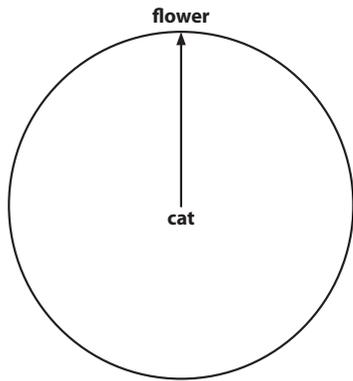
2. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **tree**.
Point to the **car**.



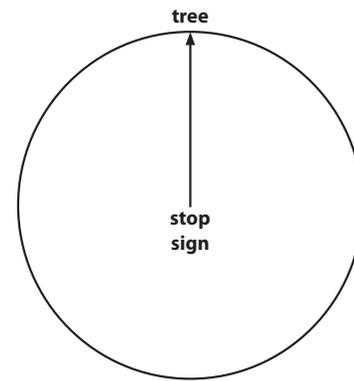
3. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **cat**.
Point to the **house**.



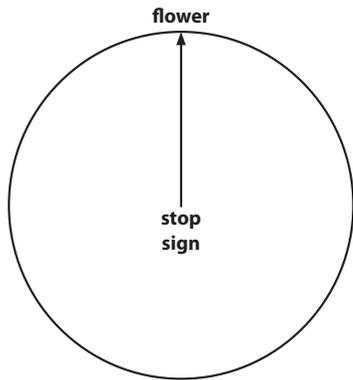
4. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **flower**.
Point to the **car**.



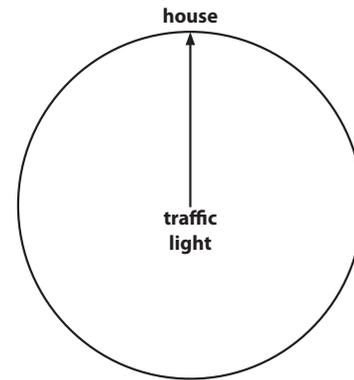
5. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **tree**.
Point to the **traffic light**.



6. Imagine you are standing at the **stop sign** and facing the **flower**.
Point to the **car**.

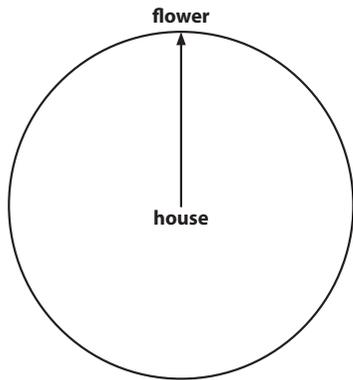


7. Imagine you are standing at the **traffic light** and facing the **house**.
Point to the **flower**.

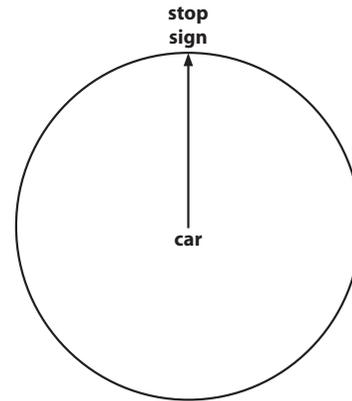




8. Imagine you are standing at the **house** and facing the **flower**.
Point to the **stop sign**.

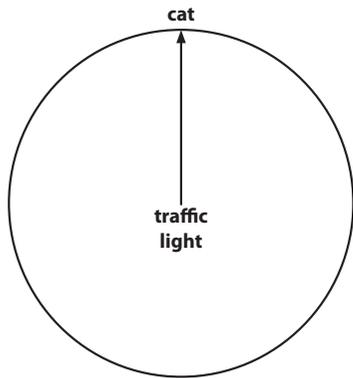


9. Imagine you are standing at the **car** and facing the **stop sign**.
Point to the **tree**.

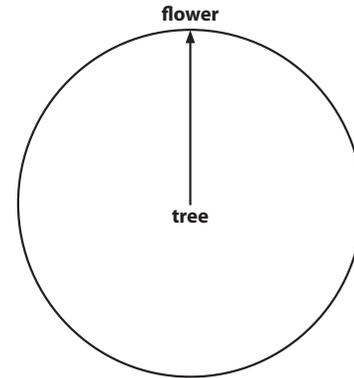




10. Imagine you are standing at the **traffic light** and facing the **cat**.
Point to the **car**.

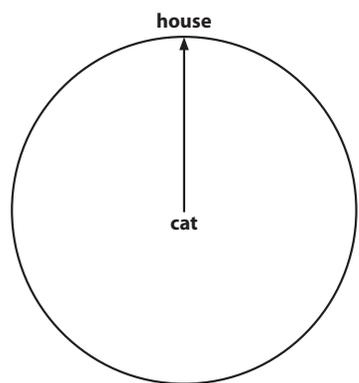


11. Imagine you are standing at the **tree** and facing the **flower**.
Point to the **house**.





12. Imagine you are standing at the **cat** and facing the **house**.
Point to the **traffic light**.



Abschlussfragebogen

TC_post_vS
Abschliessende Fragen I
<p>* 1. ID TeilnehmerIn (wird durch den Versuchsleiter ausgefüllt):</p> <input type="text"/>
<p>* 2. Wie viele <i>verschiedene Routen</i> wurden Ihnen insgesamt in der virtuellen Umgebung gezeigt?</p> <p><input type="radio"/> 1 (es war immer dieselbe Route)</p> <p><input type="radio"/> 2</p> <p><input type="radio"/> 3</p> <p><input type="radio"/> 4</p> <p><input type="radio"/> Ich weiss es nicht</p>
<p>* 3. Wie viele <i>verschiedene Darstellungsvarianten</i> wurden Ihnen insgesamt gezeigt?</p> <p><input type="radio"/> 1</p> <p><input type="radio"/> 2</p> <p><input type="radio"/> 3</p> <p><input type="radio"/> 4</p> <p><input type="radio"/> 5</p> <p><input type="radio"/> 6</p> <p><input type="radio"/> Ich weiss es nicht</p>

1

TC_post_vS

Abschliessende Fragen II

*** 4. Nachdem Sie nun die verschiedenen Umgebungen erkundet haben: Welche der folgenden Darstellungen würden Sie bevorzugen, um sich eine Routenbeschreibung ein zu prägen?**

NR. 1 (farbig, realistisch)
 NR. 2 (schwarz-weiss, realistisch)
 NR. 3 (farbig, abstrakt)
 NR. 4 (schwarz-weiss, abstrakt)



NR. 1



NR. 2



NR. 3



NR. 4

*** 5. Im Bezug zur vorherigen Frage: Wie begründen Sie Ihre Wahl?**

Mit der gewählten Umgebung habe ich nach eigenem Ermessen das *beste Resultat* erzielt.
 In der gewählten Umgebung konnte ich mir nach eigenem Ermessen die Route am *schnellsten einprägen*.
 Sonstiges (bitte angeben):

TC_post_vS

Ende

Herzlichen Dank!

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Studie. Das Experiment ist hiermit beendet.

*** 6. Bitte bestätigen Sie:**

Bitte kommunizieren Sie keine Inhalte der soeben durchgeführten Studie, um das Resultat zukünftiger TeilnehmerInnen nicht zu verfälschen.

Checkliste

Msc-Studie Tobias Cervenka (tobias.cervenka@uzh.ch)

UZH FS2016

Checkliste Studiendurchführung

Material mit zu nehmen

- Mobiltelefon (Akkustand OK)
- Laptop (Maus, Ladekabel, Akkustand OK, Antivirus eventuell auf OFF)
- Msc-Notizheft
- Notizpapier, Stifte
- *Consent-Formular* (1x Original, 1x Kopie für TeilnehmerIn) ausgedruckt
- *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* ausgedruckt
- Regeln/Bedienungsanleitung ausgedruckt
- TeilnehmerID-Liste (aktualisiert)
- Schoggi bereitlegen

Vorbereitung

- Teilnehmerliste ausfüllen (mit der/dem nächsten/m TeilnehmerIn)
- Schild «Bitte nicht stören» aufhängen
- Licht auf Maximum stellen
- Laptop starten (Internet einloggen, nur *Chrome* verwenden), Computer starten (Eye-Tracker später starten)
- Bildschirmauflösung von 1600x1024 auf 1280x800 reduzieren
- *TeamViewer* starten (Pop-up minimieren) und mit Laptop verbinden
- *Tobii-Studio*: Settings → Recordings → *Firefox*
- *Tobii-Studio*: Settings → Screen/Video Capture → auf «Preview» klicken und Popup minimieren
- Project-Preview: auf Login-Seite bereits in *CL3VER* einloggen. Preview beenden
- Laptop: *TC_pre_vS* und *TC_post* öffnen
- *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* bereitlegen + TeilnehmerID daraufschreiben
- Regeln/Bedienungsanleitung bereitlegen
- *Consent-Formular* bereitlegen

Studie

- TeilnehmerIn begrüßen, *Consent-Formular* (inklusive Kopie) überreichen + unterzeichnen lassen
- Teilnehmerliste ausfüllen (falls noch nicht komplett), Präsentationssequenz (theoretische und tatsächliche) eintragen
- Mobiltelefone auf lautlos bzw. Flugmodus (TeilnehmerIn und Experimentleiter)
- Mündliche Erklärung:
«Ich leite Sie durch die gesamte Studie. Diese Studie stellt für Sie keine Prüfung dar, in der wir Ihre Leistung überprüfen und beurteilen werden, sondern wir untersuchen den Einfluss verschiedener Darstellungen auf die Merkfähigkeit. Wir beginnen nun mit dem ersten Fragebogen»

Msc-Studie Tobias Cervenka (tobias.cervenka@uzh.ch)

UZH FS2016

- Laptop: Fragebogen *TC_pre_vS* aufrufen + ausfüllen lassen (kein Zeitlimit)
 - Eye-Tracker aufstarten + verbinden (untere Menüleiste) während TeilnehmerIn *TC_pre_vS* ausfüllt
 - Zum Computer wechseln, am Laptop *TeamViewer* maximieren
 - Regeln an der Wand erläutern
 - Recording Starten → TeilnehmerID ausfüllen (z.B. «VS01»)
 - Sitz einstellen, so dass Augen gemäss Anzeige auf dem Bildschirm einen Abstand von 60-65cm haben (Abstand zum Eye-Tracker). Diese Position muss für etwa 30 Minuten gehalten werden können (angenehme Position finden). Glaskugel zur Stabilisierung der Schultern. Nicht nach vorne beugen, nicht wegschauen, Stuhl nicht verschieben
 - Kalibrierung vornehmen (auf Start klicken): «Bitte dem roten Punkt nur mit den Augen folgen»
 - Falls nötig nachkalibrieren (solange ein Auge im grünen Bereich ist es ok), ansonsten «Accept»
 - Mündliche Erklärung:
«Bitte klicken Sie in den jeweils vorkommenden Fragebogen nur auf die Antwort und auf «Weiter» oder «Zurück», nie jedoch zwischendurch, da jeder Mausklick registriert wird. Bitte benutzen Sie das Scrollrad der Maus nicht, die Fragen sind jeweils komplett ersichtlich, auch wenn ein Scrollbalken vorhanden sein sollte. Wenn Sie die Antwort nicht wissen, können Sie auf 'Ich weiss es nicht' klicken und bei der anschliessenden Frage auf 'Sehr sicher'»
 - Recording Name vergeben: «VS01_R1_» (VS = version study, 01 = TeilnehmerID, R1 = recording nr. 1), «Add presentation order as suffix» auswählen!
- ++++++
- Umgebung starten → **4 Minuten** sobald erster Klick erfolgt ist, sobald Zeit vorbei: F9
 - Fragebogen erscheint → **kein Zeitlimit**, aber ca. 4-5 Minuten gewähren, anschliessend «bitte Fragebogen abschliessen» → mit F9 weiterfahren
 - [wiederholt sich 4 Mal]
- ++++++
- Sobald 4 Mal durchgeführt: Recording wird automatisch gespeichert
 - Papier: *Perspective Taking/Spatial Orientation Test* austeilen + Name auf Test schreiben (z.B. «VS01») → **5 Minuten stoppen**
 - Zum Laptop wechseln: *TC_post_vS* aufstarten + ausfüllen lassen (kein Zeitlimit)
 - Schoggi abgeben, TeilnehmerIn verabschieden

Nachbereitung

- Nach jedem/r TeilnehmerIn: Backup der Aufnahme (*SyncToy* → korrektes FolderPair auswählen → Run)
- Eventuell auf externe Festplatte speichern (ebenfalls mit *SyncToy*)
- *Tobii-Studio*: Settings → Recordings → *Internet Explorer*
- Eye-Tracker abstellen, Computer abstellen, falls nicht mehr benötigt
- Schild «Bitte nicht stören» abhängen
- Raum aufräumen (persönliche Gegenstände mitnehmen), Licht löschen, Türe schliessen!

SPSS Syntax

Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (Bonferroni korrigiert)

```

DATASET ACTIVATE DataSet1.
GLM Sketch Turn Ordering Seen
  /WSFACTOR=task_type 4 Polynomial
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /EMMEANS=TABLES(task_type) COMPARE ADJ(BONFERRONI)
  /PRINT=DESCRIPTIVE ETASQ
  /CRITERIA=ALPHA(.05)
  /WSDESIGN=task_type.

```

Friedman's ANOVA

```

DATASET ACTIVATE DataSet2.
NPAR TESTS
  /FRIEDMAN=sketch_score turn_score ordering_score seen_score
  /MISSING LISTWISE.

```

*Nonparametric Tests: Related Samples.

```

NPTESTS
  /RELATED TEST(sketch_score turn_score ordering_score
    seen_score)
  /MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE
  /CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95.

```

Rangkorrelation nach Spearman

```

DATASET ACTIVATE DataSet3.
NONPAR CORR
  /VARIABLES=overall_vis_acc SA_mean_LOG
  /PRINT=SPEARMAN TWOTAIL NOSIG
  /MISSING=PAIRWISE.

```

Wilcoxon-Test

NPAR TESTS

/WILCOXON=no_LM WITH LM (PAIRED)

/MISSING ANALYSIS.

CGA-Datei

```
// this file was automatically generated by the facade editor.
// red = modifications

version "2014.1"

#=====  
#by Tobias Cervenka  
#=====MSC-Thesis: START of MODIFICATION=====

attr BuildingHeight    = rand(10,15)
attr GroundFloorHeight = 2.5          #SET GROUNDLOORHEIGHT  
                                      #TO 0 IF GROUNDLOOR IS  
                                      #ALREADY INCLUDED IN TEXTURE

attr UpperFloorHeight  = 2.5

import gftex : "gf_nos_id001_w-d.cga" #DEFAULT -- REPLACE FILE NAME  
                                      #HERE AND CHANGE CGA-NAME  
                                      #TO 'me_DES_idNR_*.cga'  
                                      #  
                                      #Filename:  
                                      #gf (= GroundFloor), nos (= class  
                                      #'nostalgic'), id001 (=identification  
                                      #number), w-d (= Texture includes  
                                      #GroundFloor)

Lot-->
    extrude (world.y, BuildingHeight) Building

Building -->
    split(y){GroundFloorHeight: GF | {~UpperFloorHeight: UF} }

GF-->
    comp(f) {side: gftex.Facade}

UF-->
    comp(f) {side: Facade}

#=====  
#=====MSC-Thesis: END of MODIFICATION=====

attr LOD = 2
# LOD 0 generates the original texture
# LOD 1 generates flat splits
# LOD 2 generates splits with depth as defined in Facade Wizard

#! SIZE 5.3213606 5.377506

const n = 4

Facade -->
    case LOD <= 0:
        texture("/MSC_MainEnvironment/textures/UpperFloor/me_off_id001.jpg")
        alignScopeToGeometry(zUp, 0, world.lowest)
        setupProjection(0, scope.xy, '1.0000, '1.0000)
        projectUV(0)
    else:
        texture("/MSC_MainEnvironment/textures/UpperFloor/me_off_id001.jpg")
        alignScopeToGeometry(zUp, 0, world.lowest)
        split(y, noAdjust) { 0.08: Facade__1(0) | ~2.12: Facade__1(1) |  
~2.13: Facade__1(2) | 1.05: Facade__1(3) }

FacadeTrigger(i) -->
```

```
case LOD <= 0:
    texture("/MSC_MainEnvironment/textures/UpperFloor/me_off_id001.jpg")
    alignScopeToGeometry(zUp, 0, world.lowest)
    setupProjection(0, scope.xy, '1.0000, '1.0000)
    projectUV(0)
else:
    texture("/MSC_MainEnvironment/textures/UpperFloor/me_off_id001.jpg")
    alignScopeToGeometry(zUp, 0, world.lowest)
    Facade__1(i)

Facade__1(i) -->
    case i == 0: Facade__1_1
    case i == 1: Facade__1_2
    case i == 2: Facade__1_3
    case i == 3: Facade__1_4
    else: Facade__1_1

Facade__1_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '1.0000, '65.1773)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_2 -->
    split(y, noAdjust) { ~2.12: Facade__1_2_1 }*

Facade__1_2_1 -->
    split(x, noAdjust) { 0.19: Facade__1_2_1_1 | ~5.00: Facade__1_2_1_2 |
    0.13: Facade__1_2_1_3 }

Facade__1_2_1_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '28.0730, '2.5395, '0.0000, '-0.0390)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_2_1_2 -->
    split(x, noAdjust) { ~2.50: Facade__1_2_1_2_1 }*

Facade__1_2_1_2_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '2.1285, '2.5395, '-0.0758, '-0.0390)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_2_1_3 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '40.3726, '2.5395, '-39.3726, '-0.0390)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_3 -->
    split(y, noAdjust) { ~2.13: Facade__1_3_1 }*

Facade__1_3_1 -->
    split(x, noAdjust) { 0.20: Facade__1_3_1_1 | ~4.99: Facade__1_3_1_2 |
    0.13: Facade__1_3_1_3 }

Facade__1_3_1_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '27.0171, '2.5297, '0.0000, '-1.0350)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)
```

```
Facade__1_3_1_2 -->
    split(x, noAdjust) { ~2.50: Facade__1_3_1_2_1 }*

Facade__1_3_1_2_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '2.1317, '2.5297, '-1.0789, '-1.0350)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_3_1_3 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '40.3726, '2.5297, '-39.3726, '-1.0350)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_4 -->
    split(x, noAdjust) { 0.19: Facade__1_4_1 | ~5.00: Facade__1_4_2 |
    0.13: Facade__1_4_3 }

Facade__1_4_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '28.0730, '5.1131, '0.0000, '-4.1131)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_4_2 -->
    split(x, noAdjust) { ~2.50: Facade__1_4_2_1 }*

Facade__1_4_2_1 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '2.1285, '5.1131, '-1.0758, '-4.1131)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)

Facade__1_4_3 -->
    setupProjection(0, scope.xy, '40.3726, '5.1131, '-39.3726, '-4.1131)
    s('1, '1, 0.01) #add to fix texture bugs in CL3VER
    i("builtin:cube") #add to fix texture bugs in CL3VER
    projectUV(0)
```

TXT-Datei

```
Sequence Name / Order 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
_RC RC Q1A_RC Q1B_RC RnC Q1A_RnC Q1B_RnC AC Q1A_AC Q1B_AC AnC Q1A_AnC Q1B_AnC
_RnC RnC Q1A_RnC Q1B_RnC AC Q1A_AC Q1B_AC AnC Q1A_AnC Q1B_AnC RC Q1A_RC Q1B_RC
_AC AC Q1A_AC Q1B_AC AnC Q1A_AnC Q1B_AnC RC Q1A_RC Q1B_RC RnC Q1A_RnC Q1B_RnC
_AnC AnC Q1A_AnC Q1B_AnC RC Q1A_RC Q1B_RC RnC Q1A_RnC Q1B_RnC AC Q1A_AC Q1B_AC
```

CL3VER

Zugang zur virtuellen Umgebung

Im Folgenden sind die einzelnen Links zu den jeweiligen 3D-Stadtmodellen aufgeführt. Aufgrund von technischen Einschränkungen kann ein solches Modell jedoch nur geöffnet werden, wenn man bei CL3VER mit dem entsprechenden Benutzerkonto eingeloggt ist.

Realistisch-farbiges Modell (RC)

<https://www.cl3ver.com/projects/preview/5y0tigg9ujjug14i?timestamp=1475056776776>

Realistisch-schwarzweisses Modell (RnC)

<https://www.cl3ver.com/projects/preview/rcqpdhk8uyzumcxr?timestamp=1475055390549>

Abstrakt-farbiges Modell (AC)

<https://www.cl3ver.com/projects/preview/3fi922ir11wqm2t9?timestamp=1475056792505>

Abstrakt-schwarzweisses Modell (AnC)

<https://www.cl3ver.com/projects/preview/ce1fedlmhp55qaor?timestamp=1475056802067>

Alternative Route 2 (RC Visualisierung)

Diese Route enthält acht Richtungswechsel. Sie wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht verwendet.

<https://www.cl3ver.com/projects/preview/dwlbgpko4yxecdi?timestamp=1475056808985>

Einstellung in der CL3VER Arbeitsumgebung

- Über *Import* kann die FBX-Datei importiert werden. Es ist wichtig, dass das Koordinatensystem zuvor in ESRI CityEngine 2014 zentriert wurde, da ansonsten die

Gebäudestruktur deformiert wird.

- Die Geschwindigkeit der Kamerabewegung wurde unter *Scene Settings* auf den Wert 1000 eingestellt.
- Für die einzelnen Kamerapunkte (unter *Presentation*) wurde jeweils als Interaktionsoption *Free* verwendet und als z-Wert (Position über Grund) 2 ausgewählt.
- Unter dem Menüpunkt *Scene* kann im Register *Environment* die Hintergrundkarte definiert werden. In diesem Fall wurde dafür die Skybox verwendet. Diese muss zuvor vom PNG- ins JPG-Format konvertiert sowie um etwa 50% der Originalgrösse verkleinert werden, da CL3VER ansonsten die Skybox nicht darstellt.
- Im selben Menüpunkt (*Environment*) wurde für die *Lightmaps* für die Option *Ambient* einen Wert von 75 definiert.

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.

Tobias Cervenka

Zürich, 30. September 2016