

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung des Regionengedächtnisses

Bachelorarbeit

im Fachgebiet Kognitionswissenschaft

vorgelegt von: Paula Hilsendegen
Version vom: 31. August 2015
Studienbereich: Kognitionswissenschaft
Fakultät: Mathematisch Naturwissenschaftliche Fakultät
Matrikelnummer: 3775468
1. Betreuer: Wiebke Schick
2. Betreuer: Dr. Hannes Noack
Gutachter: Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract	3
2. Einleitung	4
3. Methoden	9
3.1. Teilnehmer	9
3.2. Aufbau	9
3.3. Ablauf	10
3.3.1. Sitzung 1	12
3.3.2. Sitzung 2	12
3.3.3. Sitzung 3	12
3.3.4. Sitzung 4	12
3.3.5. Kontrollvariablen	12
3.4. Design	13
3.5. Statistische Analyse	15
4. Ergebnisse	16
4.1. Relative Regionenpräferenz	16
4.2. Navigationsfehler	16
4.3. Absolute Regionenpräferenz	19
4.4. Kontrollvariablen	20
5. Diskussion	23
6. Literaturverzeichnis	28
Eidesstattliche Erklärung	30
A. Anhang	i
A.1. Einverständniserklärung	ii
A.2. Aufgabeninstruktion	iii
A.3. Fragebögen	iv
A.3.1. Regionenfragebogen	iv
A.3.2. Fragebogen zur Schlafqualität	v
A.3.3. Santa Babara Sense of Direction Scale	viii
A.3.4. Zahl-Symbol-Test	ix
A.3.5. Stanford Schläfrigkeitsskala	x

1. Abstract

Diese Studie untersucht den Einfluss von Schlaf auf die Abstraktion und Konsolidierung von impliziten semantischen Strukturen aus einer virtuellen Umgebung. Wiener und Mallot (2003) entwickelten ein Paradigma, mit dem sie zeigen konnten, dass implizite semantische Regionalisierungen, sofern sie von den Probanden wahrgenommen wurden, Navigationsentscheidungen beeinflussen können. Schlaf ist dafür bekannt Gedächtnisinhalte zu transformieren und könnte somit die Abstraktion, durch die Regionalisierungen entstehen können, fördern. In der vorliegenden Studie wurde dieses Paradigma in einem Tag-Nacht-Design verwendet, um zu testen, ob Schlaf einen Einfluss auf die Konsolidierung des Regionengedächtnisses hat. Alle 20 Probanden absolvierten eine Schlaf- und eine Wachphase, die jeweils aus einer Prä- und einer 12 Stunden später stattfindenden Postsitzung bestanden. Befanden sich die Probanden in der Schlafphase so schliefen sie zwischen der Prä- und der Postsitzung, befanden sie sich in einer Wachphase, so waren sie zwischen der Prä- und der Postsitzung wach. Bei einer Konsolidierungsförderung durch die Prozesse im Schlaf, so die Annahme, würde der Einfluss der semantischen Regionalisierung auf die Navigation in der auf Schlaf folgenden Sitzung stark zunehmen. Nach einem gleich langen, jedoch wach verbrachten Intervall, sollte der Einfluss hingegen konstant bleiben. Unsere Ergebnisse bestätigten die Ergebnisse von Wiener und Mallot (2003), zeigten jedoch keine Evidenz für die Hypothese.

2. Einleitung

Navigation und Orientierung in unbekannter Umgebung sind Kompetenzen, ohne die sich der menschliche Alltag sehr schwierig gestalten würde - und das trotz all der technisch immer ausgefeilteren Hilfsmittel wie GPS-Geräten. Die Komplexität der dazu benötigten kognitiven Prozesse wird einem spätestens bewusst, wenn man sich als Erstsemester in den Katakomben eines Universitätsgebäudes verlaufen hat. Gerade für die Navigation ist die Raumkognition unverzichtbar. Die dazu benötigten Kompetenzen reichen von der Detektion räumlicher Eigenschaften als Landmarken, sowie Strategien zu deren Nutzung, über die ständige Aktualisierung der eigenen Position, bis hin zur Speicherung räumlicher Information unterschiedlichster Art in verschiedenen Gedächtnissystemen (Wolbers & Hegarty, 2010). Dem Schlaf wird häufig eine unterstützende Wirkung bei der Gedächtniskonsolidierung zugeschrieben (Stickgold, 2005). Somit könnte er auch bei der Konsolidierung räumlicher Informationen ein maßgeblicher Faktor sein. Im folgenden werde ich zunächst wichtige Konzepte der Navigation vorstellen und dann auf die Bedeutung des Schlafs beim Lernen, insbesondere beim räumlichen Lernen, eingehen. Zum Abschluss der Einleitung wird die vorliegende Studie vorgestellt, die beide Forschungsstränge zusammenführt.

Räumliches Wissen wird häufig in verschiedene Kategorien unterteilt. Chrastil (2013) schlägt dabei die Unterscheidung von vier hierarchisch aufeinander aufbauenden Kategorien vor: Landmarkenwissen, Routenwissen, Graphen-Wissen und Überblickswissen. Unter Landmarkenwissen versteht Chrastil die Erkennung von Orten, insbesondere der eigenen Position, und die Identifizierung von Entscheidungspunkten, die der Orientierung dienen können. Das Routenwissen wird häufig mit einem egozentrischen Bezugssystem assoziiert und als eine Abfolge von Navigationsentscheidungen, die mit einem bestimmten Ort verbunden sind, verstanden. Im Gegensatz dazu wird beim Überblickswissen eine allozentrische Perspektive angenommen. Das Überblickswissen wird häufig als kartenähnlich aufgefasst, da es unabhängig von der Position des Betrachters Abstände und Winkel zwischen verschiedenen Orten beinhaltet und somit Wissen über die Form, die Ausrichtung und die Anordnungen in der Umgebung bereitstellt. Zwischen dem Routen- und dem Überblickswissen ordnet Chrastil das Graphen-Wissen ein, das als Netzwerk verschiedener Orte zu verstehen ist und Aussagen über die Nachbarschaft und Verbindungen zwischen diesen Orten enthält. Graphen-Wissen kann durch die Kombination verschiedener Routen entstehen und somit eine flexiblere Aktionsauswahl ermöglichen. Nach Chrastil können dem räumlichen Wissen sieben kognitive Prozesse zugeordnet werden. Jede Kategorie des räumlichen Wissens besteht aus einer unterschiedlichen Kombination dieser Prozesse, die sich auch neuronal unterscheiden lassen. Wolbers und Hegarty (2010) gehen davon aus, dass beim Erlernen von räumlichem Wissen, das Voraussetzung für eine erfolgreiche Navigation ist, verschiedene ego- und allozentrische Informationsquellen integriert werden und in verschiedenen Gedächtnissystemen repräsentiert werden. So wird zum Beispiel das Überblickswissen eher dem

2. Einleitung

deklarativen Gedächtnis zugeordnet, wohingegen Routenwissen zum prozeduralen Gedächtnis gehört (Burgess, 2008; Wolbers et al., 2010).

Semantisches Vorwissen kann Einfluss auf die Routenplanung ausüben. In einer Studie von Wiener und Mallot (2003) bestand die Aufgabe der Probanden darin, in einer virtuellen Umgebung den kürzesten Weg zu finden, der mehrere zuvor genannte Ziele verband (*travelling-salesman-Problem*). Die Versuchsumgebung hatte die Form eines Hexagons, von dessen Ecken jeweils eine Sackgasse ausging (*iterated y-maze*; s. Abbildung 1).

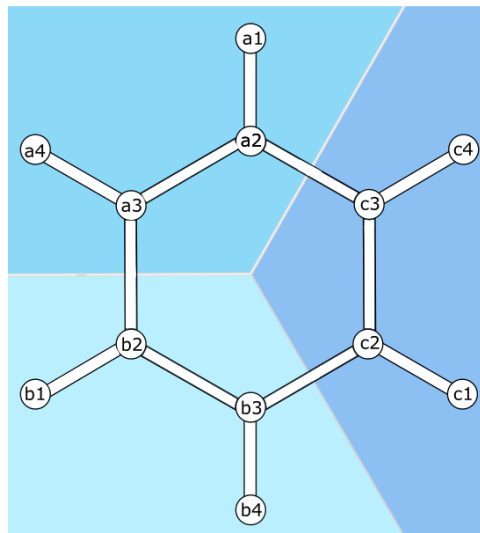


Abbildung 1.: Hexagonale Form der Versuchsumgebung. Die semantischen Regionen werden durch Blautöne, sowie durch die Kleinbuchstaben symbolisiert. Die Zahlen von 1-4 stellen die Landmarken einer semantischen Kategorie dar.

Die Entscheidungspunkte, also die Kreuzungen im Hexagon und in den Sackgassen, waren jeweils durch eine Landmarke und zwei Bilder davon so gekennzeichnet, dass sie beim Annähern an die Kreuzung von jeder Richtung aus sichtbar waren. Die Kreuzungen ließen sich nur anhand dieser Landmarken unterscheiden, da sich die Straßen alle glichen und von einer Kreuzung aus, die anderen nicht gesehen werden konnten. Die Landmarken waren so verteilt, dass jeweils vier davon - zwei auf dem Hexagon, zwei in den zugehörigen Sackgassen-, zur selben semantischen Kategorie gehörten. Auf Basis dieser semantischen Kategorien der Landmarken konnten die Probanden selbst eine Unterteilung in Regionen ableiten, die nicht explizit durch Regionengrenzen gegeben waren. Für die Testrouten gab es jeweils zwei equidistante korrekte Lösungen, die sich nur in der Anzahl der durchquerten Regionen unterschieden. Die Probanden, die eine Wahrnehmung unterschiedlicher Regionen berichteten, bevorzugten Routen, die durch weniger Regionen führten und bei denen sie also weniger implizite Regionengrenzen überschreiten mussten. Diese Routen werden im Folgenden als regionenkonsistente Routen bezeichnet. Bei anderen Experimenten konnte bereits zuvor gezeigt werden, dass die Wahrnehmung von expliziten Regionengrenzen die Distanzschätzung beeinflusst. So wurden beispielsweise Distanzen über Grenzen hinweg als zu groß eingeschätzt (Kosslyn, Pick, & Fariello, 1974; Newcombe & Liben, 1982). Den Effekt der impliziten Regionengrenzen, den Wiener und Mallot (2003) in ihrer Studie als Regioneneffekt bezeichneten, führten die Autoren auf den Einfluss der übergeordneten semantischen

2. Einleitung

Struktur der Umgebung zurück. Durch die unbewusst erfolgende Kategorisierung entsprechend der semantischen Gruppen änderte sich die mentale Repräsentation dahingehend, dass die metrischen Abstände - die alle gleich lang waren - weniger Einfluss auf die Routenentscheidung nahmen. Da nur die aktuelle Landmarke wahrgenommen werden konnte, entnahmen die Probanden die relevanten Informationen für Entscheidungen bei der Routenplanung möglicherweise aus der Gedächtnisrepräsentation der semantischen Kategorie (Wiener et al., 2003).

Auf eine Analogie zwischen semantischen Erinnerungen und allozentrischen, kartenähnlichen Repräsentationen sowie zwischen episodischen Erinnerungen und der Wegintegration weist Buzsáki (2005) hin. Unter episodischen Erinnerungen fasst Buzsáki persönliche Erfahrungen zusammen, die auf ein Ereignis zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort referieren. Semantische Erinnerungen sind nach Buzsáki kontextbereinigt und referieren auf die abstrahierte Bedeutung von Objekten und Ereignissen. Buzsáki (2005) schlägt ein Modell vor, nach dem sich allozentrische Karten bilden, wenn die Exploration einer unbekanntem Umgebung Routen beinhaltet, die sich kreuzen oder gemeinsame Wegabschnitte teilen. Buzsáki stützt sein Modell auf Befunde aus der Tierforschung, wonach sich Ortszellen im Hippocampus von unidirektionalen zu omnidirektionalen Zellen entwickeln, nachdem die Tiere einer zweidimensionalen Umgebung ausgesetzt wurden. Nach Buzsáki stellt die Wegintegration bei Tieren eine Basis kognitiver Karten dar. Diese Idee überträgt Buzsáki auf episodische und semantische Erinnerungen. Verschiedene Episoden, die in einem Bestandteil übereinstimmen, können eine semantische Erinnerung formen.

In anderen Modellen zur Abstraktion semantischer Inhalte, spielt Schlaf eine zentrale Rolle. So beschreiben Lewis und Durrant (2011) einen Überlappungsmechanismus, ähnlich dem Buzsákis (2005). Kommt es zu einer Überlappung bei der Reaktivierung neu enkodierter Gedächtnisinhalte mit gemeinsamen Elementen, können diese abstrahiert und zu einem Schema zusammengesetzt werden. Neurone, die an der Kodierung von Informationen beteiligt sind, die in verschiedenen Gedächtniskontexten vorkommen, erfahren hierbei stärkere Aktivierung und weisen höhere Feuerraten auf. Der *Hebb-Regel* zufolge werden dadurch auch die synaptischen Verbindungen zwischen solchen Neuronen stärker gefestigt als Verbindungen die nur zu einem Gedächtnisinhalt gehören, sodass sie bei zukünftiger Aktivierung besser interagieren. Zuletzt reaktivierte synaptische Verbindungen werden nach der Homöostase-Hypothese in einem Prozess, der *synaptic downscaling* genannt wird, geschwächt. Verbindungen, die zuvor häufiger miteinander feuerten, überstehen diesen während des *slow wave sleep* auftretenden Prozess. Schwache Verbindungen, die nicht zu einer Überlappung gehören, werden dagegen entfernt. Die besondere Kombination aus der Reaktivierung von Gedächtnisinhalten, dem *synaptic downscaling*, einem geringem sensorischen Einfluss und begünstigenden physiologischen Parametern während des Schlafs erleichtert nach Lewis und Durrant (2011) den Abstraktionsprozess, da durch das Entfernen der schwachen Verbindungen, lediglich die starken und deshalb eventuell relevanter erscheinenden Informationen erhalten bleiben. Durch Abstraktion, die Begrenzung der zu beachtenden Faktoren, kann die Arbeitslast minimiert werden. Dadurch werden kognitive Leistungen effizienter und schneller. Dies gilt auch für die Raumkognition. Abstraktion, das Nicht-Berücksichtigen irrelevanter Informationen, ermöglicht eine effiziente Planung der Navigation und stellt somit

2. Einleitung

eine wichtige Strategie der Routenplanung dar. Anstatt lange und komplexe Pfade detailliert zu planen, reicht die Bestimmung eines fragmentierten Pfades, der dann abschnittsweise im Detail geplant wird.

Welchen Einfluss Schlaf auf die Konsolidierung des Raumgedächtnisses nimmt und inwiefern er Abstraktionsprozesse vermittelt, die die Navigation effizienter machen, ist umstritten. In mehreren fMRI-Studien wurde nach dem Schlaf, obwohl es zu einer Restrukturierung der räumlichen Gedächtnisrepräsentation kam, keine Veränderung in der Effizienz der (virtuellen) Navigation gemessen (Orban et al., 2005; Rauchs et al., 2008). Andere Studien hingegen belegen, dass Schlaf zu einer Veränderung der räumlichen Repräsentation führen kann (Nguyen, Tucker, Stickgold, & Wamsley, 2013; Ferrara et al., 2008). Eine Studie, die eine virtuelle Navigationsaufgabe verwendete, zeigte, dass Schlaf die Zeit zum Erreichen eines Navigationsziels reduzierte (Ferrara et al., 2013). Nguyen et al. (2013) demonstrierten, ebenfalls mit einem Experiment in einer virtuellen Umgebung, dass es nach dem Schlaf zu einer Reduktion der Anzahl der benötigten Navigationsschritte kam; dass die Probanden nach dem Schlaf mit höherer Genauigkeit und damit effizienter navigierten. Diese unterschiedlichen Ergebnisse deuten eventuell darauf hin, dass Schlaf nur auf bestimmte Prozesse, die abhängig von der Aufgabenstellung benutzt werden, einen Einfluss auf die Navigationsleistung hat.

Vertreter der *active system consolidation* (Diekelmann & Born, 2010; Inostroza & Born, 2013) gehen davon aus, dass während des Schlafs episodische Repräsentationen in dekontextualisierte Schemata transformiert werden. Evidenz dafür, dass Schlaf zu einer Transformation von Wissen führen kann, erhält diese These aus Experimenten zum motorischen Lernen. Die Restrukturierungen im Schlaf erleichtern die Extraktion expliziten Wissens aus implizit enkodierten Strukturen (Wagner, Gais, Haider, Verleger, & Born, 2004) und können dazu beitragen, dass unveränderliche Eigenschaften dieser Strukturen bewusst werden (Wilhelm et al., 2013). Im Unterschied zu den zuvor skizzierten Konzepten wird bei der *active system consolidation* eine Enkodierung in hippocampalen sowie extrahippocampalen Arealen angenommen. Während des *slow wave sleep* kommt es ausgelöst durch die *slow oscillations* des Neocortex, zu einer Reaktivierung der neu enkodierten Gedächtnisinhalte im Hippocampus. Das führt wiederum zu einer gleichzeitigen Reaktivierung der neokortikalen Repräsentationen. Auf diese Art werden die neokortikalen Repräsentationen schrittweise vor dem Verfall geschützt, indem die wiederholte Aktivierung die synaptischen Verbindungen dieser Repräsentationen stärkt. Durch die gleichzeitige Reaktivierung ähnlicher oder schon bestehender Repräsentationen trägt dieser Prozess zudem zur Integration der neu gelernten Informationen in die bestehende Wissensbasis bei.

Der Einfluss von Schlaf auf die Abstraktion und Konsolidierung relevanter Merkmale und Schemata ist gut belegt (Inostroza & Born, 2012; Lewis & Durrant, 2011). Ob ein ähnlicher Einfluss auch für implizit enkodierte semantische Strukturen existiert, wollen wir in der vorliegenden Studie untersuchen. Dazu verwenden wir das Paradigma von Wiener und Mallot (2003) in einem Tag-Nacht-Messwiederholungsdesign. Alle Probanden absolvierten vier Sitzungen, zwei Prä- und zwei Postsitzungen, wobei zwischen der Prä- und der Postsitzung eine Pause von 12 Stunden lag. Jeweils zwei aufeinanderfolgende Sitzungen, eine Prä- und eine Postsitzung, wurden zu einer Phase zusammengefasst, wovon eine eine Schlafphase war und die andere eine Wachphase. Jeder

2. Einleitung

Proband verbrachte die 12 Stunden zwischen den Sitzungen in der Schlafphase schlafend und in der Wachphase wach. Entsprechend der Reihenfolge der Phasen wurden die Probanden in zwei Gruppen unterteilt: die Schlaf-Wachgruppe und die Wach-Schlafgruppe. Für die Phasen wurden unterschiedliche Versionen der virtuellen Umgebung verwendet. Zwischen den Phasen vergingen mindestens zwei Wochen. Unter der Annahme, dass Schlaf zu einer stärkeren Abstraktion und Konsolidierung der semantischen Struktur der virtuellen Welt führt, sollte sich der Einfluss der semantischen Struktur auf die Routenplanung nach dem Schlafen vergrößern, jedoch konstant bleiben, wenn nicht geschlafen wurde. Eine Konsolidierungsförderung durch den Schlaf würde die Präferenz für die regionenkonsistente Routen in der auf Schlaf folgenden Sitzung stark erhöhen. Da diese Förderung während dem wachen Zustand nicht auftritt, erwarten wir keine Veränderung in der Präferenz der regionenkonsistenten Routen in einer Wachphase. Wir erwarten somit eine Zweifachinteraktion zwischen der Art der Phase (Schlafphase vs. Wachphase) und dem Testzeitpunkt (Prä- vs. Postsitzung).

3. Methoden

3.1. Teilnehmer

Dreiundzwanzig Studierende nahmen an der Studie teil. Drei brachen die Studie vor Vollendung der vierten Sitzung ab und wurden deshalb nicht in die Analysen einbezogen. Unter den 20 Studierenden, die alle Sitzungen absolvierten (Alter: 20 - 42, $M = 24.6$) waren 14 Frauen und 6 Männer. Alle Probanden waren normalsichtig oder trugen eine entsprechende Sehhilfe. Gegenüber der Fragestellung waren die Probanden naiv und hatten vorher noch an keinem Experiment in dieser Versuchsumgebung teilgenommen. Für ihre Teilnahme erhielten sie eine Vergütung von 8 € pro angebrochener Stunde. Vor Beginn des Experiments unterzeichneten die Probanden eine Einverständniserklärung, in der sie über die Freiwilligkeit der Teilnahme und die Möglichkeit zum Abbruch der Studie informiert wurden.

3.2. Aufbau

Das Navigationsexperiment wurde in einer virtuellen Umgebung durchgeführt, die mit der Software Multigen Creator (Multi-Gen-Paradigm) erstellt wurde. Die Umgebung, die Instruktionen und die Startposition wurden auf einem 30 Zoll Bildschirm dargeboten. Auf einem zweiten Bildschirm (15 Zoll) konnte der Proband sowohl in der Trainings- als auch in der Testphase die Zielobjekte sehen. Sobald ein Zielobjekt erreicht wurde, verschwand es vom Bildschirm. Die Probanden navigierten mit der Maus, wobei mit der linken und der rechten Maustaste eine Drehung in die entsprechende Richtung um 60° initiiert wurde, und das Klicken des Mousrads eine Bewegung zur nächsten in Blickrichtung befindlichen Kreuzung auslöste.

In der Umgebung wurden zwölf Objekte positioniert, sechs davon an den Ecken eines Hexagons. Von jeder Ecke ging eine Straße aus, die in eine Sackgasse mündete. Auch in den Sackgassen wurden Landmarken platziert. Die Sackgassen wurden durch Schranken gekennzeichnet, die von den Plätzen auf dem Ring des Hexagons aus gesehen werden konnten. Zwischen den Objekten befanden sich Hügel, die verhinderten, dass die Probanden allein durch eine Drehung auf der Stelle Informationen über die benachbarten Objekte erhielten. Hinweisschilder, die ein Bild des Objekts zeigten, stellten sicher, dass, unabhängig aus welcher Richtung der Proband sich dem Objekt näherte, er dieses erkennen konnte.

Die zwölf Objekte entstammten drei semantischen Kategorien. Jeweils zwei Objekte einer Kategorie lagen benachbart auf dem Hexagon. Die anderen beiden Objekte der Kategorie wurden in den zugehörigen Sackgassen positioniert. Eine Grenze zwischen den durch die semantischen Kategorien geformten Regionen war nicht sichtbar (s. Abbildung 2).

3. Methoden

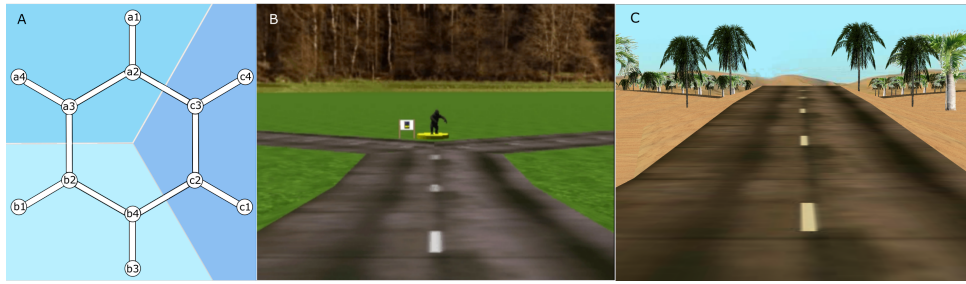


Abbildung 2.: **A** Schematische Karte der virtuellen Umgebung. Die Regionen werden durch die verschiedenen Blautöne dargestellt, sowie durch die Kleinbuchstaben. Die Zahlen in den weißen Kreisen symbolisieren Landmarken und die weißen Linien die Straßen zwischen den Landmarken; **B** Ansicht der Probanden bei der Annäherung an eine Landmarke in der Waldumgebung; **C** Ansicht der Probanden in der Wüstenumgebung

Die virtuelle Umgebung existierte in zwei Versionen, die sich in der Form und in der nachbarschaftlichen Positionierung von Objekten einer Kategorie nicht unterschieden. Jedoch war die Textur einmal als Wiese und einmal als Wüste realisiert. In der Wiesenumgebung wurden Objekte der Kategorien Tiere, Fahrzeuge und Kunstwerke verwendet. Der Wüstenumgebung waren Objekte der Kategorien Musikinstrumente, Möbel und Werkzeuge zugeordnet.

3.3. Ablauf

Jeder Proband absolvierte vier Testungen. Der Einfluss des Schlafes wurde durch ein Tag-Nacht-Design mit zwölfstündigem Retentionsintervall operationalisiert. Die Probanden wurden zufällig einer Wach-Schlaf- und einer Schlaf-Wachgruppe zugewiesen. Die Probanden der Wach-Schlafgruppe hatten ihre erste Sitzung am Morgen und ihre zweite 12 Stunden später am Abend. Die Probanden wurden gebeten, zwischen den Sitzungen nicht zu schlafen. Nach einer mindestens zweiwöchigen Pause kamen die Probanden der Wach-Schlafgruppe für ihre dritte Sitzung am Abend und wiederum 12 Stunden später zu ihrer vierten Sitzung am Morgen. Bei den Probanden der Schlaf-Wachgruppe wurde die Reihenfolge der Wach- und Schlafphase umgekehrt, sodass sie zwischen der ersten und zweiten Sitzung schliefen und zwischen der dritten und vierten Sitzung wach waren (s. Tabelle 1).

In Sitzung 1 und 3, den Präsitzen, lernten die Probanden jeweils eine der beiden Versionen der Umgebung (Wald vs. Wüste) kennen. Dies begann mit einer Explorationsphase von mindestens 5 Minuten, in der jeder Platz der Umgebung zumindest einmal aufgesucht werden musste. In der darauffolgenden Trainingsphase, bestehend aus 6 Routen, wurden die Startpunkte in den Sackgassen so rotiert, dass jede Sackgasse des Labyrinths mindestens 1 Mal besucht wurde. In dieser Phase sollten die Probanden einzelne Zielobjekte auf dem kürzesten Weg finden. Die Zielpositionen lagen in der Nachbarsackgasse (s. Abbildung 3 A) oder in der des zweiten Nachbarn (s. Abbildung 3 B); es gab für jede Trainingsroute nur eine optimale Lösung. Die sechs Trainingsrouten wurden in Bezug auf den Startplatz und Links-Rechts-Entscheidungen so ausgewählt, dass die Probanden an allen Objekten mindestens einmal vorbeigingen. Das zu erreichende Kriterium war das korrekte Absolvieren der Route zwei Mal nacheinander.

3. Methoden

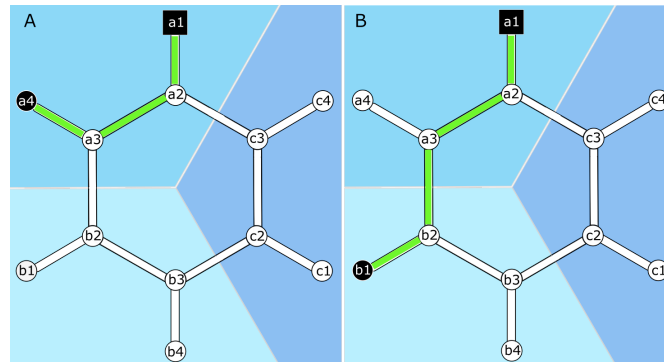


Abbildung 3.: mögliche Testrouten (Die schwarzen Quadrate symbolisieren die Startpositionen, die schwarzen Kreise die Zielpositionen) Bei **A** liegt das Zielobjekt in der Nachbarsackgasse, bei **B** in der des zweiten Nachbarn.

In der Testphase des Navigationsexperiments war es Aufgabe der Probanden, von einer gegebenen Startposition drei Ziele auf dem kürzesten Weg anzusteuern. Die Zielobjekte waren jeweils Bestandteil einer von drei Routentypen, zwei davon Testrouten, der dritte Typ ein Distraktor (s. Abbildung 4).

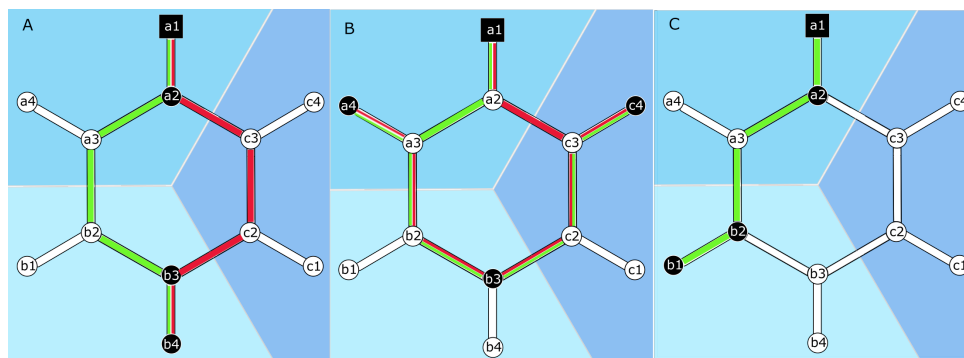


Abbildung 4.: Routentypen (Die schwarzen Quadrate symbolisieren die Startpositionen, die schwarzen Kreise, die Zielpositionen. Der grüne Pfad kennzeichnet die korrekte und regionenkonsistente Lösung, der rote die korrekte, aber nicht regionenkonsistente Lösung.) **A** A-Route: regionenkonsistente Lösung: a1-a2-a3-b2-b3-b4 oder alternative Lösung: a1-a2-c3-c2-b3-b4; **B** B-Route: regionenkonsistente Lösung: a1-a2-a3-a4-a3-b2-b3-c2-c3-c4 oder alternative Lösung: a1-a2-c3-c4-c3-c2-b3-b2-a3-a4; **C** C-Route: korrekte Lösung: a1-a2-a3-b2-b1.

Jeder Routentyp wurde 6 Mal präsentiert, wobei die Entscheidungen nach der Richtung (rechts vs. links) ausbalanciert wurden. Während es für den Distraktor (C Routen) nur eine optimale Lösung gab, erlaubten die Testrouten (Routen des Typs A oder B) zwei equidistante Alternativen, die sich nur in der Anzahl der durchquerten semantischen Regionen unterschieden (s. Abbildung 4). Die Alternative, die durch die geringere Anzahl an Regionen führt, wird im Folgenden als regionenkonsistent bezeichnet. Die zweite und die vierte Sitzung, Postsitzungen, waren reine Testsitzungen, die ohne freie Exploration und Trainingsphase direkt in die Testphase starteten. Die Routen und auch die ausgewählten Zielobjekte waren identisch mit denen in der Präsitung 12 Stunden davor.

3. Methoden

3.3.1. Sitzung 1

Nach der Unterzeichnung der Einverständniserklärung, füllten die Probanden den Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R; s. Anhang A.3.2) aus, beurteilten ihre Schläfrigkeit mit der Stanford Sleepiness Scale (SSS; s. Anhang A.3.5) und ihr Orientierungsvermögen mit dem Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSOD; s. Anhang A.3.3) und führten den Psychomotor Vigilance Test (PVT) durch. Nach Lektüre der Aufgabenstellung sowie weiteren mündlichen Ausführungen erfolgte das Navigationsexperiment in der virtuellen Umgebung.

3.3.2. Sitzung 2

Da Sitzung 2 für Probanden der Schlaf-Wachgruppe am Morgen stattfand, wurde in dieser Gruppe die Schlafqualität erneut mit dem SF-A-R gemessen. Des Weiteren wurden SSS, PVT, Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT) und der Zahl-Symbol-Test (ZST; s. Anhang A.3.4) durchgeführt (s. Tabelle 1 für die Zeitpunkte der Tests). Nach einer kurzen mündlichen Wiederholung der Aufgabeninstruktion durch den Versuchsleiter, begannen die Probanden mit der Navigationsaufgabe, die diesmal lediglich aus der Testphase bestand. Abschließend füllten die Probanden den Fragebogen zur Wahrnehmung der Regionen (Regionenfragebogen; s. Anhang A.3.1) aus.

3.3.3. Sitzung 3

Der Aufbau von Sitzung 3 entsprach dem von Sitzung 1, jedoch ohne SBSOD. Für die Navigationsaufgabe wurde die jeweils andere Umgebung verwendet (s. Tabelle 1).

3.3.4. Sitzung 4

Sitzung 4 wurde wie Sitzung 2, allerdings ohne ZST, durchgeführt. Da Sitzung 4 für Probanden der Wach-Schlafgruppe am Morgen stattfand, füllten diesmal diese Probanden den Fragebogen zu Schlafqualität aus. Für den RWT wurde der jeweils andere Buchstabe verwendet. Zum Abschluss des Experiments wurden die Probanden bezüglich der Fragestellung aufgeklärt.

3.3.5. Kontrollvariablen

Um zu untersuchen, ob die aufgabenbezogene Leistungsfähigkeit zwischen den Probanden vergleichbar war, erhoben wir ein Maß zur allgemeinen Verarbeitungsgeschwindigkeit (ZST) und ein Maß, bei dem die Probanden ihr Orientierungs- und Navigiervermögen einschätzten (SBSOD). Beim ZST erhalten die Probanden eine Tafel mit 90 Zahlen zwischen eins und neun. Jeder Zahl ist ein Symbol zugeordnet, das keine offensichtliche Beziehung zur Zahl hat. In 90 Sekunden sollen die Probanden so vielen Zahlen wie möglich der Reihe nach Symbole zuordnen und diese in die Tafel unter die entsprechende Zahl eintragen. Um interindividuelle Unterschiede in Bezug auf das Orientierungs- und Navigiervermögen besser evaluieren zu können, baten wir die Probanden außerdem mit dem SBSOD dies selbst zu beurteilen. Die Selbsteinschätzung beim SBSOD ist ein guter Prädiktor bei kognitiv räumlichen Aufgaben (Hegarty, Richardson, Montello, Lovelace

3. Methoden

& Subbiah, 2002). Bei den 15 Items des Fragebogens handelt es sich um Aussagen wie "Ich bin gut im Kartenlesen" oder "Ich kann gut Entfernungen einschätzen". Die Probanden gaben jeweils auf einer Skala von eins bis sieben an, wie sehr sie den Aussagen zustimmten.

Die Postsitzungen der Probanden fanden einmal morgens und einmal abends statt. Dadurch sind intraindividuelle Unterschiede in der Schläfrigkeit und Vigilanz möglich (Pomplun, Silva, Ronda, Cain, Münch, Czeisler & Duffy, 2012). Um solche Unterschiede und deren Effekt auf die Aufgabenbewältigung kontrollieren zu können, führten wir SSS, PVT und RWT durch. Bei der SSS geben die Probanden auf einer Skala von eins ("Ich fühle mich aktiv, lebhaft, aufmerksam oder sehr wach") bis acht ("Ich schlafe") den Grad ihrer Schläfrigkeit an. Beim PVT handelt es sich um einen einfachen Reaktionszeittest, der gut dafür geeignet ist schlafbezogene Effekte der Vigilanz aufzudecken (Lim & Dinges, 2008). Aus dem selben Grund führten wir den RWT durch, da auch die Wortflüssigkeit abhängig von der Schläfrigkeit des Probanden intraindividuelle Unterschiede aufweisen kann. Beim RWT wird der Proband aufgefordert, in zwei Minuten so viele Wörter wie möglich, ohne die Verwendung von Eigennamen und Mehrfachnennung von Wörtern eines Wortstamms, zu einem gegebenen Anfangsbuchstaben aufzuschreiben. Für den Test wurden die Buchstaben M und P verwendet. Durch den Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R) mit Fragen zum Schlafverhalten und -qualität erhoben wir Daten darüber, ob die Probanden in der vergangenen Nacht ausreichend geschlafen hatten. Nach Absolvieren der Postsitzungen (Sitzung 2 und Sitzung 4) füllten die Probanden einen weiteren Fragebogen zur Selbsteinschätzung der eigenen Leistung im Experiment aus und wurden unter anderem nach der empfundenen Regionenwahrnehmung gefragt, sowie aufgefordert, eine Skizze der Testumgebung zu zeichnen (Regionenfragebogen). Der Regionenfragebogen sollte darüber Aufschluss geben, inwiefern die Probanden explizites Wissen über die Regionen aufgebaut hatten.

3.4. Design

Der durchgeführten Untersuchung lag ein mehrfaktorielles Design mit Parallelversionen der Umgebung zugrunde. Jeder Proband durchlief eine Wach- und eine Schlafphase, deren Reihenfolge zwischen den Probanden ausbalanciert wurde. Probanden in der Wachphase begannen um 08.00 Uhr oder um 09.00 Uhr mit der Präsitung und kamen zur Postsitzung 12 Stunden später um 20.00 Uhr, bzw. um 21.00 Uhr, wenn die Präsitung um 09.00 Uhr stattfand. Für Probanden in der Schlafphase wurden die Zeiten umgekehrt, sodass die Präsitung am Abend und die Postsitzung am Morgen stattfand. Die Reihenfolge der Wach- und der Schlafphase definierte die Gruppenzugehörigkeit, sodass Probanden, die in der ersten Phase schliefen und in der zweiten Phase wach waren zur Schlaf-Wachgruppe gehörten und Probanden die in der ersten Phase wach waren und in der zweiten Phase schliefen zur Wach-Schlafgruppe gehörten. Die Probanden wurden den Gruppen zufällig zugeteilt. Zwischen den beiden Phasen vergingen mindestens 2 Wochen.

Die Parallelversionen der Umgebung unterschieden sich hinsichtlich der Oberfläche (Wiese vs. Wüste) und den semantischen Kategorien (Tiere, Fahrzeuge und Kunstwerke vs. Musikinstrumente, Werkzeuge und Möbel), nicht aber hinsichtlich der hexagonalen Form und der

3. Methoden

Tabelle 1.: Aufbau des Experiments getrennt nach Gruppen

		Phase 1			Phase 2		
		Sitzung 1	Retention	Sitzung 2	Sitzung 3	Retention	Sitzung 4
Wach-Schlafgruppe	morgens	<ul style="list-style-type: none"> • Einverständnis-erklärung • SF- A- R • SSS • SBSOD • PVT • Navigationsaufgabe 	12 h wach	abends	<ul style="list-style-type: none"> • SF- A- R • SSS • PVT • Navigationsaufgabe • Regionenfragebogen 	12 h Schlaf	morgens
	abends			morgens			
Schlaf-Wachgruppe	abends	<ul style="list-style-type: none"> • Einverständnis-erklärung • SF- A- R • SSS • SBSOD • PVT • Navigationsaufgabe 	12 h Schlaf	morgens	<ul style="list-style-type: none"> • SF- A- R • SSS • ZST • RWT • PVT • Navigationsaufgabe • Regionenfragebogen 	12 h wach	abends
	morgens			abends			
				Mindestens zwei Wochen			
Umgebung 1					Umgebung 2		

Anmerkung: Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R), Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS), Santa Babara Sense of Direction Scale (SBSOD), Psychomotor Vigilance Test (PVT), Zahl-Symbol-Test (ZST), Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)

nachbarschaftlichen Positionierung von Objekten einer Kategorie. Die Hälfte der Probanden absolvierte das Navigationsexperiment in der ersten Phase in der Waldumgebung, die andere Hälfte in der Wüstenumgebung. In der zweiten Phase wurde dann die jeweils andere Umgebung für das Navigationsexperiment verwendet. Dadurch konnte einem Reihenfolgeeffekt vorgebeugt werden.

Als statistisches Modell wählten wir eine 2 x 2 -ANOVA mit den Within-Faktoren Phase (Wach- vs. Schlafphase) und Testzeitpunkt (Präsituation vs. Postsituation). Als abhängige Variable diente die relative Regionenpräferenz. Wie zuvor beschrieben, gab es für Routen des Typs A oder B zwei korrekte equidistante Lösungen. Diese unterschieden sich in der Anzahl der durchquerten semantischen Regionen. Die Route, die durch weniger Regionen führte, wurde als regionenkonsistent bezeichnet. Für jeden Probanden wurde pro Sitzung der Prozentsatz seiner korrekten Routen bestimmt, der mit der regionenkonsistenten Alternative absolviert wurde. Dieser Prozentsatz wird im Folgenden relative Regionenpräferenz genannt. Die Anzahl der Navigationsfehler stellte eine weitere abhängige Variable dar. Ein Fehler wurde berechnet beim Betreten eines Platzes, der nicht Bestandteil einer korrekten Route war. Dritte abhängige Variable war die Anzahl der ersten Navigationsentscheidungen in Richtung der regionenkonsistenten Route. Für diese Anzahl spielte es keine Rolle, ob eine Route als Fehler gewertet wurde. Im Folgenden wird diese Anzahl als absolute Regionenpräferenz bezeichnet.

3.5. Statistische Analyse

Allen Analysen wurde eine Überprüfung der Homoskedastizität und der Normalverteilung der Residuen pro Experimentalbedingung vorangestellt. Zur Überprüfung der Homoskedastizität verwendeten wir den Levene-Test. Die Annahme der Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft. Bei Verletzungen dieser Annahmen wägen wir ab, inwiefern das Design die Anwendung eines nicht-parametrischen Verfahrens zuließ. So verwendeten wir bei Verletzungen der Annahmen beim Vergleich der zentralen Tendenz von zwei unabhängigen Stichproben den Mann-Whitney-U-Test und bei zwei abhängigen Stichproben den Wilcoxon-Test. Bei komplexeren Analysen verwendeten wir auch bei Verletzungen der Annahmen die ANOVA und kennzeichneten die Verletzungen im Ergebnisteil an den entsprechenden Stellen. Auch wenn nur eine geringe Anzahl von Beobachtungswerten pro Experimentalbedingung vorliegt, wird die F-Statistik bei kleinen Abweichungen gegenüber der Normalverteilungsannahme kaum beeinflusst (Pituch, Whittaker, & Stevens, 2013; Schmider, Ziegler, Danay, Beyer, & Bühner, 2015) und gilt deshalb als robust. Alle Analysen wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Relative Regionenpräferenz

Die Varianzanalyse für die relative Regionenpräferenz zeigte weder für die Faktorstufen des Faktors Phase (Wach- vs. Schlafphase), $F(1,19) = 1.3$, $p > .25$, $\eta_G^2 = .02$, noch für die des Faktors Testzeitpunkt (Prä- vs. Postsitzung), $F(1,19) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$, signifikante Unterschiede (s. Abbildung 5 A). Insbesondere die erwartete Interaktion zwischen den Faktoren Lernen und Bedingung blieb aus, $F(1,19) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$. Da zwischen den Phasen und Testzeitpunkten keine Unterschiede bestanden, mittelten wir die relative Regionenpräferenz über alle Probanden und Experimentalbedingungen. Die Probanden wählten häufiger die regionenkonsistente Route ($M \pm SE = .62 \pm .03$). Die mittlere relative Regionenpräferenz lag signifikant über der Zufallswahrscheinlichkeit von .5, $t(79) = 4.39$, $p < .001$. Ohne den Einfluss der semantischen Regionen würden man erwarten, dass sich die Probanden etwa in gleicher Häufigkeit für und gegen die regionenkonsistenten Routen entscheiden.

Um zu untersuchen, ob die Reihenfolge der Phasen einen Effekt auf die relative Regionenpräferenz hat, fügten wir dem Modell den Between-Faktor Gruppe (Schlaf-Wach- vs. Wach-Schlafgruppe) hinzu. Es traten keine gruppenbezogenen Reihenfolgeeffekte auf, $F(1,18) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$.

Der Fragebogen zur Selbsteinschätzung der eigenen Leistungen sowie zur Wahrnehmung der Versuchsumgebung legte nahe, dass die Probanden die Navigationsaufgabe in der Wüstenumgebung schwieriger fanden als in der Waldumgebung. Deshalb untersuchten wir den Einfluss der Umgebung (Wald vs. Wüste) auf die relative Regionenpräferenz mit einer einfaktoriellen ANOVA. In der Waldumgebung ($M \pm SE = 0.72 \pm .03$) wurde häufiger die regionenkonsistente Route gewählt als in der Wüstenumgebung ($M \pm SE = 0.53 \pm .04$), $F(1,19) = 11.79$, $p = .003$, $\eta_G^2 = .2$ (s. Abbildung 5 B). Aus verschiedenen Studien ist bekannt (Pomplun, Silva, Ronda, Cain, Münch, Czeisler & Duffy, 2012), dass die Tageszeit, beziehungsweise die aktuelle Phase des circadianen Rhythmus, die kognitiven Fähigkeiten unterschiedlich beeinflusst. Deshalb untersuchten wir mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Gruppe und Tageszeit, ob der Zeitpunkt der Messung (morgens vs. abends) Einfluss auf die relative Regionenpräferenz nimmt. Es wurden keine auf die Tageszeit bezogenen Effekte gefunden, $F(1,18) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 < .001$.

4.2. Navigationsfehler

Die Navigationsfehler wurden ebenfalls mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä- vs. Postsitzung) und Phase (Schlaf- vs. Wachphase) ausgewertet. Weder

4. Ergebnisse

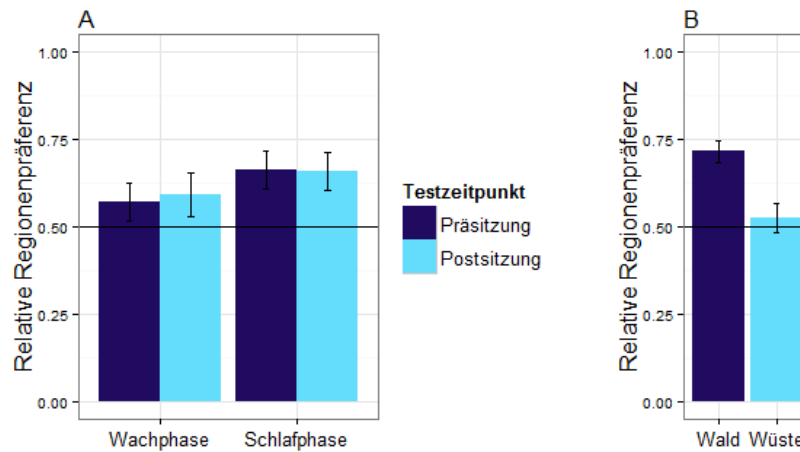


Abbildung 5.: **A** Relative Regionpräferenz in Abhängigkeit von der Phase getrennt nach den Faktorstufen des Faktors Testzeitpunkt. **B** Relative Regionpräferenz in Abhängigkeit von der Umgebung. Die horizontalen Linien bei 0.50 markieren jeweils das Zufallsniveau. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

für den Faktor Testzeitpunkt, $F(1,19) = 1.36$, $p > .25$, $\eta_G^2 = .01$, noch für den Faktor Phase, $F(1,19) = .29$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$, trat ein signifikanter Haupteffekt auf. Auch die Interaktion zwischen diesen Faktoren wurde nicht signifikant, $F(1,19) = .$, $p = .$, $\eta_G^2 = 0$.

Um herauszufinden, ob die Reihenfolge der Phasen Einfluss auf das Ergebnis nahm, fügten wir der zweifaktoriellen Analyse den Between-Faktor Gruppe (Schlaf-Wach- vs. Wach-Schlafgruppe) hinzu. Ein Trend zu einem signifikanten Haupteffekt für den Faktor Gruppe, $F(1, 18) = 4.32$, $p = .052$, $\eta_G^2 = .13$, deutet auf einen Unterschied zwischen den Probanden der Wach-Schlafgruppe und denen der Schlaf-Wachgruppe und somit auf Unterschiede in der Reihenfolge der Phasen hin (s. Abbildung 6). Da zwischen den Phasen und den Testzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede bestanden und auch die Dreifachinteraktion zwischen Gruppe, Phase und Testzeitpunkt nicht signifikant wurde, mittelten wir über diese Variablen. Probanden der Wach-Schlafgruppe ($M \pm SE = 2.55 \pm .44$) machten weniger Fehler als die Probanden der Schlaf-Wachgruppe ($M \pm SE = 4.83 \pm .54$). Die Zweifachinteraktion zwischen den Faktoren Gruppe und Phase wurde signifikant, $F(1, 18) = 5.96$, $p = .025$, $\eta_G^2 = .06$. Da es keinen Unterschied zwischen den Testzeitpunkten gab, ermittelten wir für beide Gruppen pro Phase einen Mittelwert. Dann verglichen wir die Differenz der Phasenmittelwerte der Schlaf-Wachgruppe ($M = -1.15$) mit der der Wach-Schlafgruppe ($M = 1.9$) in einem t-Test, $t(18) = 2.44$, $p = .03$. Hinter dieser Interaktion verbirgt sich ein Reihenfolgeeffekt, den wir mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse für die Faktoren Sitzung und Gruppe genauer analysierten. Es zeigte sich ein Trend zu einem signifikanten Haupteffekt für den Faktor Gruppe, $F(1, 18) = 4.32$, $p = .052$, $\eta_G^2 = .13$, und ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Sitzung, $F(3, 54) = 4.37$, $p = .008$, $\eta_G^2 = .08$ (s. Abbildung 7). Von der ersten bis zur dritten Sitzung nahm die Zahl der Navigationsfehler ab ($M_1 \pm SE = 5.05 \pm .8$, $M_2 \pm SE = 3.85 \pm .75$, $M_3 \pm SE = 2.8 \pm .59$). In der vierten Sitzung kam es zu einem leichten Zunahme der Navigationsfehler ($M_4 \pm SE = 3.05 \pm .73$). Paarweise t-Tests zwischen den einzelnen Sitzungen zeigten, nachdem die P-Werte mit der

4. Ergebnisse

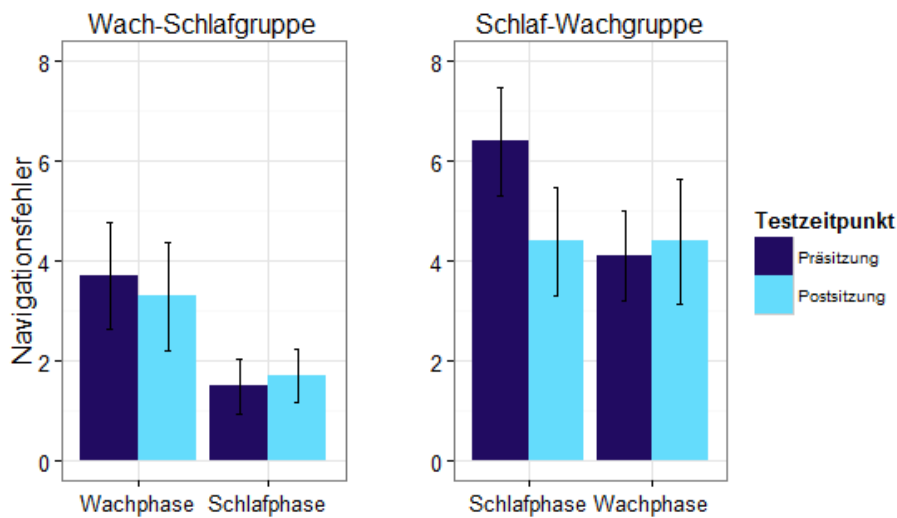


Abbildung 6.: Mittlere Anzahl der Navigationsfehler abhängig von der Phase getrennt nach Prä- und Postsituation sowie Wach-Schlaf- und Schlaf-Wachgruppe. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar. Anmerkung: Die Reihenfolge der auf der x-Achse abgetragenen Phasen im Plot entspricht der chronologischen Abfolge der Phasen im Experiment

Bonferroni-Korrektur angepasst wurden, dass nur zwischen Sitzung 1 und 3 ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Navigationsfehler bestand, $t(38) = 3.029$, $p = .041$.

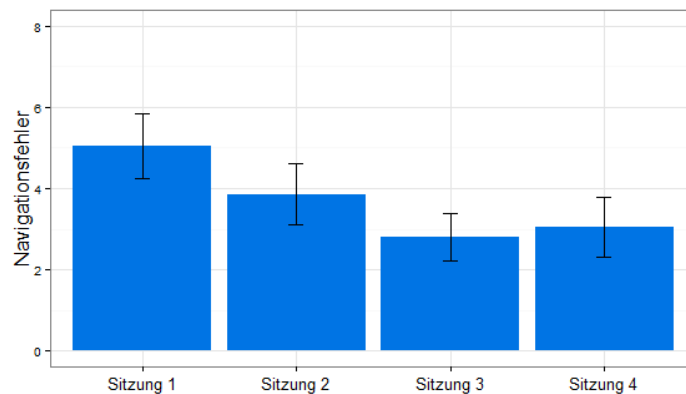


Abbildung 7.: Mittlere Anzahl der Navigationsfehler in Abhängigkeit von der Sitzung. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

Wie bereits bei der relativen Regionenpräferenz erwähnt, ergab der Fragebogen zur Selbsteinschätzung der eigenen Leistungen sowie zur Wahrnehmung der Versuchsumgebung, dass die Probanden die Navigationsaufgabe in der Wüstenumgebung schwieriger als in der Waldumgebung empfanden. Deshalb untersuchten wir auch bei den Navigationsfehlern den Einfluss der Umgebung (Wald vs. Wüste) mit einer einfaktoriellen ANOVA. Es zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Umgebung, $F(1,19) = 1.28$, $p > .25$, $\eta_G^2 = .02$.

4. Ergebnisse

Auch bei den Navigationsfehlern untersuchten wir den Einfluss der Tageszeit mit einer zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Gruppe und Tageszeit. Die Tageszeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Navigationsfehler, $F(1,18) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = .003$. Die Interaktion zwischen Tageszeit und Gruppe wurde signifikant, $F = 4.68$, $p = .03$, $\eta_G^2 = .03$. Während in der Wach-Schlafgruppe die Fehleranzahl morgens ($M \pm SE = 2.85 \pm .64$) etwas höher als abends ($M \pm SE = 2.25 \pm .5$) lag, machten die Probanden der Schlaf-Wachgruppe im Mittel morgens ($M \pm SE = 4.25 \pm .95$) weniger Fehler als abends ($M \pm SE = 5.4 \pm 1.21$). Bei den Fehlern wurde in mehreren Experimentalbedingungen die Normalverteilungsannahme nicht erfüllt (s. statistische Analyse)

4.3. Absolute Regionenpräferenz

Da die Fehleranzahl teilweise deutlich über der mittleren Fehleranzahl aus Vorgängerexperimenten lag (zum Vgl. Wiener & Mallot, 2003) und da zur Bestimmung der relativen Regionenpräferenz die Anzahl der verwendeten Durchgänge sich stark zwischen den Gruppen und einzelnen Phasen unterschied, wurde eine dritte abhängige Variable eingeführt, die Ausrichtung der ersten Navigationsentscheidung. Bei dieser Variable wurde die Anzahl der Routen, bei denen die erste Navigationsentscheidung in Richtung der regionenkonsistenten Route lag, gemessen, unabhängig davon, ob eine Route korrekt absolviert wurde. Bei einer zweifaktoriellen Varianzanalyse traten weder für den Faktor Testzeitpunkt (Prä- vs. Posttest), $F(1,19) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$, noch für den Faktor Phase (Wach- vs. Schlafphase), $F(1,19) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$, signifikante Haupteffekte auf (s. Abbildung 8). Auch die Interaktion zwischen den beiden Faktoren wurde nicht signifikant, $F(1,19) = .29$, $p > .25$, $\eta_G^2 = 0$. Im Mittel ($M \pm SE = 7.39 \pm .25$) schlugen die Probanden in mehr als der Hälfte der Routen die regionenkonsistente Lösung ein, $t(79) = 5.49$, $p < .001$. Um zu untersuchen, ob ein Reihenfolgeeffekt der Phasen vorlag, fügten wir der zweifaktoriellen ANOVA den Faktor Gruppe (Schlaf-Wach- vs. Wach-Schlafgruppe) hinzu. Es zeigten sich keine gruppenbezogenen Reihenfolgeeffekte, $F(1,18) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 = .01$. Auch bei dieser Variable wurden in mehreren Experimentalbedingungen die Normalverteilungsannahme verletzt (s. statistische Analyse).

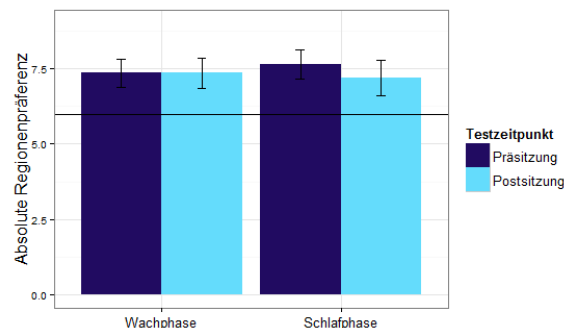


Abbildung 8.: Absolute Regionenpräferenz in Abhängigkeit von der Phase getrennt nach den Faktorstufen des Faktors Testzeitpunkt. Die horizontale Linie markiert die Hälfte der Anzahl aller Durchgänge.

4.4. Kontrollvariablen

Die vorangegangenen Analysen legen einen Gruppenunterschied zwischen der Wach-Schlaf und Schlaf-Wachgruppe nahe. Deshalb verglichen wir die Leistungen der Probanden in allgemeiner Verarbeitungsgeschwindigkeit (ZST) und im subjektiven Orientierungsvermögen (SBSOD) mit dem Mann-Whitney-U-Test. Die Probanden der Wach-Schlafgruppe ($Median = 71.5$, $range: 55 - 89$) erzielten ein besseres ZST-Ergebnis als die Probanden der Schlaf-Wachgruppe ($Median = 61.5$, $range: 36 - 83$), $U(10,10) = 1224$; $p < 0.001$ (s. Abbildung 9). In der Selbsteinschätzung des Orientierungs- und Navigiervermögens bestand zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied, $U(10,10) = 920$, $p = .249$.

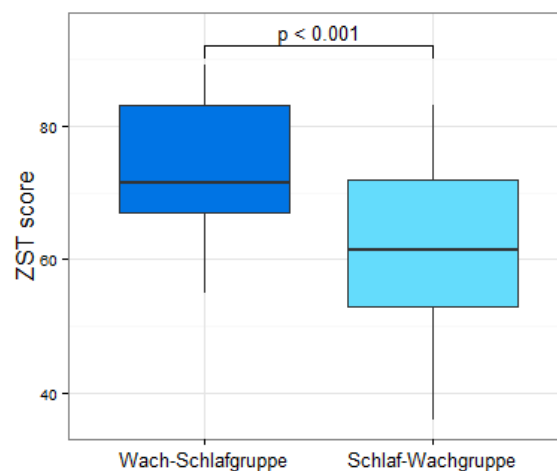


Abbildung 9.: Boxplots für die Ergebnisse des ZST getrennt nach Gruppen.

Da die Sitzungen zu unterschiedlichen Tageszeiten stattfanden, untersuchten wir anhand der Ergebnisse von RWT, SSS und PVT, ob bei der Schläfrigkeit bzw. der Vigilanz, innerhalb der Probanden Unterschiede zwischen den Sitzungen bestanden. Bei den Ergebnissen des RWT wurde die Normalverteilungsannahme verletzt. Der RWT deckte keine Schläfrigkeitsunterschiede zwischen den Sitzungen auf, $T(20) = 105$, $p > .25$. Auch bei der SSS konnte die Normalverteilungsannahme nicht erfüllt werden. Deshalb verglichen wir die Ergebnisse aus den Postsitzungen mit dem Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Einschätzung der Schläfrigkeit, $T(20) = 56.5$, $p > .25$. Da beim PVT die Normalverteilungsannahme erfüllt wurde, verwendeten wir eine zweifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Testzeitpunkt (Prä- vs. Postsitzung) und Phase (Wach- vs. Schlafphase). Weder zwischen Prä- und Postsitzung, $F(1,19) < 1$, $p > .25$, $\eta_G^2 < .001$, noch zwischen der Wach- und der Schlafphase, $F(1,19) = 2.14$, $p = .16$, $\eta_G^2 = .008$, traten signifikante Unterschiede in den Reaktionszeiten auf.

Die Fragebögen zur Schlafqualität wiesen keine Auffälligkeiten auf und es fanden sich keine Unterschiede bezüglich der Gruppen. Die Probanden gaben an ausreichend geschlafen zu haben. Die Skizzen, die die Probanden nach der zweiten und vierten Sitzung anfertigten, wurden auf zwei Kriterien hin überprüft: Zum einen wurde beurteilt, ob die Probanden die

4. Ergebnisse

hexagonale Struktur der Umgebung erkannten, zum anderen wurde die vollständige Aufzählung sowie die korrekte Positionierung der Landmarken gewertet. Mit diesen beiden Faktoren konnten im Vorgängerexperiment 85% der Varianz der Skizzen erklärt werden. Nach der zweiten Sitzung waren in 35% der Skizzen sowohl die Form- als auch die Platzidentifikation korrekt. Dieser Anteil erhöhte sich nach der vierten Sitzung auf 60%. In der zweiten Sitzung erkannten 75% der Probanden die hexagonale Struktur, wobei 60% dieser Probanden zur Wach-Schlafgruppe gehörten. 40% aller Probanden, davon 50% Probanden der Wach-Schlafgruppe, benannten in der zweiten Sitzung die Landmarken richtig. In der vierten Sitzung zeichneten 85% der Probanden die Umgebung als Hexagon. Der Anteil der Probanden aus der Wach-Schlafgruppe lag bei 47%. 65% aller Probanden, davon 54% Probanden der Wach-Schlafgruppe, gelang es die Landmarken in der 4. Sitzung richtig zu benennen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnten diese Unterschiede in der Verteilung der Häufigkeiten zwischen Sitzung 2 und Sitzung 4 jedoch nicht durch Chi-Quadrat-Tests bestätigt werden.

Der SBSOD ist als guter Prädiktor für die Fähigkeiten der Richtungs- und Entfernungsschätzung, sowie des Anfertigen von Karten bekannt (Hegarty, Richardson, Montello, Lovelace, & Subbiah, 2002), deshalb untersuchten wir den Zusammenhang zwischen der relativen Regionenpräferenz bzw. der Anzahl der Navigationsfehler und der Selbsteinschätzung der Orientierungsfähigkeiten (SBSOD). Besonders hoch sind die Korrelationen zwischen dem Testergebnis und den räumlichen Fähigkeiten, wenn das räumliche Wissen durch Erfahrung in der realen Welt erlangt wurde. Allerdings bestehen die Zusammenhänge auch, wenn das räumliche Wissen in einer virtuellen Welt gelernt wurde (Hegarty et al., 2002). Für die Pearson-Produkt-Moment-Korrelation mittelten wir für jeden Probanden über alle Sitzungen hinweg die relative Regionenpräferenz bzw. die Anzahl der Navigationsfehler und korrelierten diese Ergebnisse mit dem Testergebnis des SBSOD. Ein positiver, jedoch nicht signifikanter, Zusammenhang stellte sich für den Anteil der regionenkonsistenten Routen ein, $r = .29$, $p = .21$. Für die mittlere Anzahl der Fehler ermittelten wir wie erwartet einen negativen, nicht signifikanten Zusammenhang, $r = -.24$, $p = .3$.

Abschließend untersuchten wir, ob es sich bei der relativen Regionenpräferenz, der Anzahl der Navigationsfehler und der absoluten Regionenpräferenz um stabile Merkmale eines Individuums handelt, die sich zwischen den Sitzungen nicht verändern. Wir führten eine Pearson-Produkt-Moment-Korrelationen, um den Zusammenhang der relativen Regionenpräferenz, der Navigationsfehler bzw. der absoluten Regionenpräferenz aus Sitzung 1 und 2, sowie aus Sitzung 3 und 4 und aus Phase 1 und 2 zu untersuchen. Es ergab sich eine signifikante positive Korrelation sowohl für die relative Regionenpräferenz aus Sitzung 1 und 2, $r = .53$, $p = .017$, (s. Abbildung 10 A), als auch für die Navigationsfehler aus Sitzung 1 und 2, $r = .65$, $p = .002$, (s. Abbildung 10 D), als auch für die absolute Regionenpräferenz aus Sitzung 1 und 2, $r = .64$, $p = .002$. Zwischen Sitzung 3 und 4 bestand ebenfalls sowohl für die relative Regionenpräferenz, $r = .41$, $p = .07$, (s. Abbildung 10 B), als auch für die Navigationsfehler, $r = .78$, $p < .001$, (s. Abbildung 10 E), als auch bei der absoluten Regionenpräferenz, $r = .28$, $p = .235$, ein positiver Zusammenhang, der jedoch nur bei den Navigationsfehlern signifikant wurde. Um den Zusammenhang zwischen den beiden Phasen zu bestimmen, mittelten wir über die Sitzungen einer Phase. Bei den relativen

4. Ergebnisse

Regionenpräferenz ergab sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Phase 1 und 2, $r = -.06$, $p > .25$ (s. Abbildung 10 C). Bei den Fehlern hingegen zeigte sich ein signifikante positiver Zusammenhang $r = .58$, $p = .007$ (s. Abbildung 10 F). Der Zusammenhang bei der absoluten Regionenpräferenz zwischen Phase 1 und 2 wurde nicht signifikant, $r = .37$, $p = .119$.

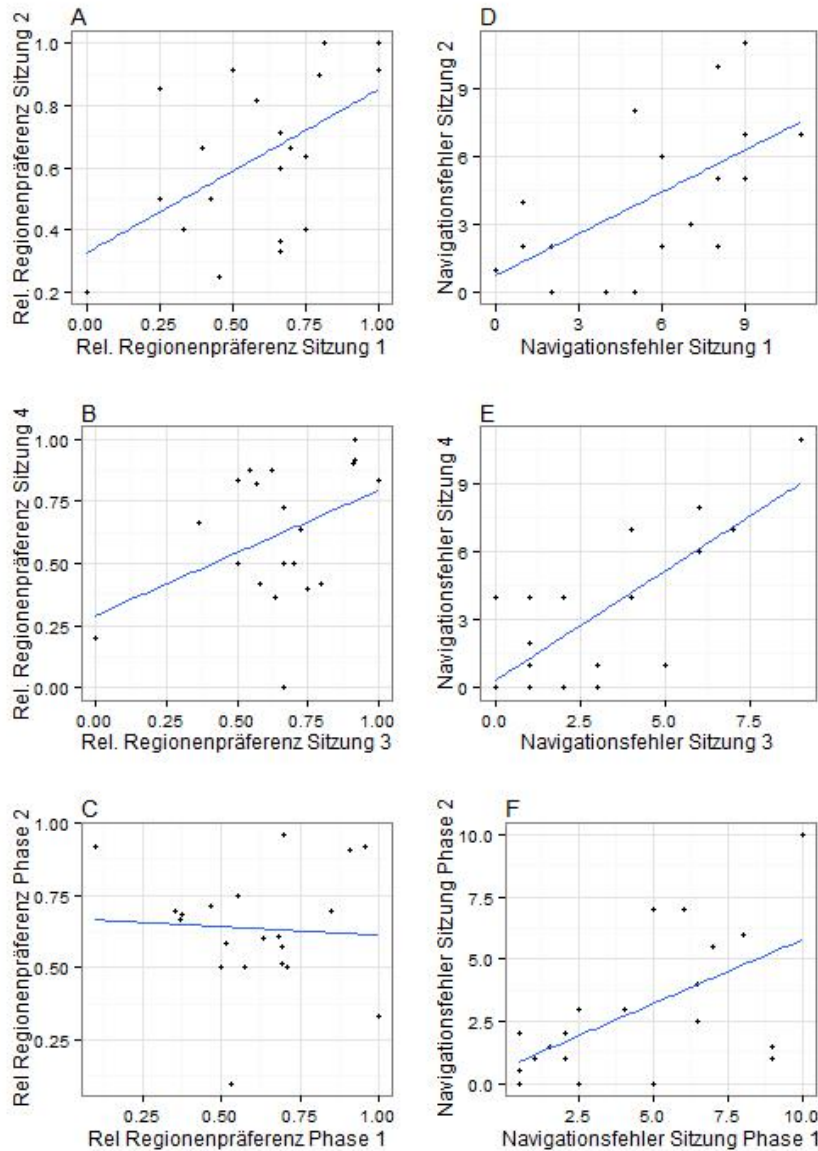


Abbildung 10.: Reliabilität der relativen Regionenpräferenz und der Navigationsfehler **A** Zusammenhang der relativen Regionenpräferenz zwischen Sitzung 1 und 2. **B** Zusammenhang der relativen Regionenpräferenz zwischen Sitzung 3 und 4. **C** Zusammenhang der relativen Regionenpräferenz zwischen Phase 1 und 2. **D** Zusammenhang der Navigationsfehler zwischen Sitzung 1 und 2. **E** Zusammenhang der Navigationsfehler zwischen Sitzung 3 und 4. **F** Zusammenhang der Navigationsfehler zwischen Sitzung 3 und 4.

5. Diskussion

In der vorliegenden Studie untersuchten wir den Einfluss von Schlaf auf die Extraktion semantischer Strukturen aus einer virtuellen Umgebung und auf das Memoisieren regionaler Strukturierung der Umgebung. Zur Beantwortung dieser Frage führten die Probanden eine Navigationsaufgabe in einem Tag-Nacht-Design durch. Wir nahmen an, dass die Deutlichkeit der Wahrnehmung der semantischen und räumlichen Regionalisierung durch die Konsolidierungsprozesse im Schlaf gestärkt werden würde. Das sollte zu einem verstärkten Einfluss der durch die semantische Struktur definierten Regionen auf die mentale Repräsentation der Umgebung führen und somit Auswirkungen auf das Navigationsverhalten haben. Wir erwarteten, dass Schlaf den Einfluss der semantischen Struktur bei der räumlichen Entscheidungsfindung vergrößert, was zu einer deutlicheren Präferenz für die regionenkonsistenten Routen nach dem Schlaf führen sollte. Eine gleich lange Phase des Wachseins sollte die Präferenz hingegen nicht beeinflussen.

Die Ergebnisse bestätigen die Hypothese jedoch nicht. In allen Bedingungen trat eine deutliche Präferenz für die regionenkonsistente Routen auf, wodurch wir die Ergebnisse von Wiener und Mallot (2003) replizieren konnten. Allerdings kam es nach dem Schlaf nicht zu einer signifikanten Zuwachs der relativen Regionenpräferenz. In der Wach-Schlafgruppe scheint es sogar eine kleine Verschlechterung zu geben. Das Ergebnismuster ist unerwartet und lässt keine eindeutige Interpretation zu. Im Folgenden werde ich zunächst mögliche Störfaktoren diskutieren und anschließend verschiedene Interpretationsmöglichkeiten vorschlagen.

Die Probanden wurden zufällig der Wach-Schlafgruppe bzw. der Schlaf- Wachgruppe zugeteilt. Trotzdem traten große Unterschiede in Bezug auf die Kontrollvariablen (s. Analyse ZST) sowie die Navigationsleistung auf. In der ersten Sitzung liegt bei der Schlaf-Wachgruppe die mittlere Fehleranzahl bei 6.4. Das bedeutet, dass die Probanden dieser Gruppe in der ersten Sitzung im Durchschnitt weniger als die Hälfte der Routen ohne Fehler absolvierten. Da in die Berechnung des Anteils der regionenkonsistenten Routen nur die korrekten Routen einbezogen werden, kann ein schwacher Trend bei dieser Variable dem Zufall geschuldet sein. Selbst als die Probanden der Schlaf-Wachgruppe zum dritten Mal kamen, lag ihre mittlere Fehleranzahl ($M = 4.1$) noch immer über der der Wach-Schlafgruppe in der ersten Sitzung ($M = 3.7$). Der Unterschied bei diesem Vergleich kann nicht auf den Einfluss der Tageszeit zurückgeführt werden, da sowohl die dritte Sitzung der Schlaf-Wachgruppe als auch die erste Sitzung der Wach-Schlafgruppe am Morgen stattfand. Deshalb ist der Unterschied innerhalb der Probanden zu suchen, was durch die Unterschiede bei den Kontrollvariablen (s. Analyse ZST) bestätigt wird. In Nachfolgeexperimenten könnte man beispielsweise ein Kriterium einführen, das Probanden, die zu viele Fehler machen und vermutlich keine oder fehlerhafte Vorstellungen von der Form der Versuchsumgebung aufgebaut haben, von der Analyse ausschließt. Außerdem könnte eine Verlängerung der Explorationsphase und vor allem der Trainingsphase die Anzahl der Fehler senken.

5. *Diskussion*

Ein weiteres Problem der Studie liegt im signifikanten Unterschied bei der Präferenz der regionenkonsistenten Routen zwischen den beiden Versionen der Versuchsumgebung (Wald vs. Wüste). Zwar sollte sich der Unterschied aufgrund der Ausbalancierung über das Experiment hinweg ausgleichen, jedoch ist nicht auszuschließen, dass der Vorteil der "leichteren" Umgebung größer ausfällt, wenn man in der ersten Sitzung in dieser Umgebung die Navigationsaufgabe ausführte, als wenn man in der dritten Sitzung mit der "leichteren" Umgebung konfrontiert wurde. Darüber hinaus könnte der in der Wüstenumgebung sehr viel schwächer ausgeprägte Regioneneffekt darauf hinweisen, dass in dieser Umgebung die Regionalisierung weniger stark von den Probanden wahrgenommen wurde. Eventuell widmeten sie ihre volle Aufmerksamkeit dem Erkennen und Differenzieren der Landmarken, da sich bei den Landmarken der Wüstenumgebung zum Teil um unbekanntere Objekte (z. Bsp. Werkzeug) handelte, die sich innerhalb einer Kategorie stärker ähnelten als die Landmarken der Waldumgebung. Möglicherweise sind die Kategorien verschieden im Gedächtnis repräsentiert sind (Lakoff, 1990), was Ursache für eine unterschiedliche Regionenwahrnehmung sein könnte. In Nachfolgeexperimenten ist deshalb unbedingt darauf zu achten, dass die verwendeten Umgebungen als "gleich schwierig" und ähnlich stark regionalisiert wahrgenommen werden.

Da bekannt ist, dass es bei der Navigation große individuelle Unterschiede gibt (Wolbers & Hegarty, 2005), wurde für die vorliegende Studie ein Messwiederholungsdesign gewählt, das wenig anfällig für interindividuelle Unterschiede ist. Dieses Design bringt jedoch auch einen großen Nachteil mit sich: Zwischen der ersten und der zweiten Versuchsphase kann ein Lerneffekt auftreten, dessen Beitrag an der Gesamtleistung wir nicht abschätzen können. In der dritten Sitzung führten die Probanden die Navigationsaufgabe in einer anderen Version der virtuellen Umgebung durch. Sowohl die Landmarken als auch die semantischen Kategorien waren neu. Mit der hexagonalen Struktur der Umgebung waren die Probanden jedoch schon sehr vertraut. Zudem wurden sie am Ende der zweiten Sitzung mit dem Regionenfragebogen explizit danach gefragt, inwiefern sie die Umgebung als regionalisiert empfanden. Es ist deshalb gut vorstellbar, dass es den Probanden in der dritten Sitzung leichter fiel sich auf die Landmarken und auf die Regionen zu konzentrieren, da sie die Versuchsumgebung und deren Regionalisierung wiedererkannten.

Für Nachfolgestudien sollte auch das abhängige Maß der relativen Regionenpräferenz hinterfragt werden. Wie bereits angesprochen gehen bei vielen Navigationsfehlern nur wenige Routen in die Berechnung der Regionenpräferenz ein. Das schränkt die Reliabilität dieser Variable ein, weshalb sie nur bedingt über den Regioneneffekt Aufschluss geben kann. Auch die Tatsache, dass zwischen der relativen Regionenpräferenz aus Phase 1 und aus Phase 2 kein Zusammenhang bestand, macht deutlich, dass die relative Regionenpräferenz im Gegensatz zu den Navigationsfehlern nicht als stabiles Persönlichkeitsmerkmal räumlicher Fähigkeiten aufzufassen ist. Vielmehr scheint sie unter bestimmten Umständen, die wir anhand der vorliegenden Studie nicht genauer beleuchten können, für den einzelnen Probanden ad hoc, im Gruppenmittel jedoch stabil aufzutreten. Bereits in dieser Studie wurde versucht, ein weiteres Maß einzuführen: die absolute Regionenpräferenz. Bei dieser Variable zählten wir, wie oft die erste Navigationsentscheidung in Richtung der regionenkonsistenten Route lag, unabhängig davon, ob im weiteren Verlauf der Route Fehler auftraten. Jedoch weist auch dieses Maß bei der Reliabilität über Phasen und Um-

5. Diskussion

gebungen hinweg Schwächen auf. Die Entwicklung eines neuen Maßes, das Vorteile aus beiden genannten Variablen verknüpft, könnte sich als zielführend erweisen.

Im zweiten Teil der Diskussion sollen nun inhaltliche Interpretationen zu den Ergebnissen der Studie vorgeschlagen werden.

Eventuell reichte die Zeit zwischen Enkodierung und Abruf nicht für die Konsolidierung der semantischen Struktur aus. Diese Interpretation widerspricht jedoch der häufigen Annahme, dass vor allem in der ersten Nacht nach der Enkodierung die leistungssteigernde Wirkung des Schlafes zum Tragen kommt (Walker, 2005; Ferrara et al., 2008). Zwar kann es auch in den darauf folgenden Nächten zu Verbesserungen kommen, der Lernzuwachs ist dann jedoch geringer. Die Ergebnisse dieser Studie können diese Annahme zumindest zum Teil stützen. So kommt es in der Schlaf-Wachgruppe nach der ersten Nacht zu einer deutlichen Fehlerreduktion (s. Abbildung 6). In den darauf folgenden Sitzungen bleibt die Fehleranzahl jedoch nahezu konstant. Für die Wach-Schlafgruppe ist eine ähnliche Aussage nicht möglich, da nach der ersten auf die Enkodierung folgenden Nacht keine Daten erhoben wurden. Trotzdem kann auch für die Wach-Schlafgruppe festgehalten werden, dass eine deutliche Verbesserung bei der mittleren Anzahl der Fehler erst in Sitzung 3 auftritt, also erst nachdem die Probanden geschlafen haben. In der Zeit zwischen Sitzung 1 und 3, die die Probanden wach verbrachten, reduzierte sich die Anzahl der Navigationsfehler kaum. Die Aussagekraft dieser Interpretation bleibt jedoch fraglich, da die Probanden in der vorliegenden Studie deutlich mehr Fehler als in Vorgängerexperimenten, die nur aus einer Sitzung bestanden, machten. Eventuell handelt es sich bei der ausgewählten Stichprobe nicht um eine Probandengruppe, deren Navigationsverhalten auf eine Gesamtheit übertragen werden kann.

Die vorangegangene Beschreibung der Entwicklung der Fehleranzahl legt nahe, dass es im Schlaf zu einer Konsolidierung von Wissen über die Struktur der Umgebung kam. Diese Konsolidierung erhöhte jedoch nicht die Präferenz für die regionenkonsistenten Routen. Es ist möglich, dass die Regionen nur zu Beginn des Experiments von Nutzen sind. Möglicherweise haben die Probanden am Anfang noch keine Sicherheit über die Struktur der virtuellen Umgebung und den darin enthaltenen Orten aufgebaut. Sie verwenden die Regionen also als Heuristik. Eine sinnvolle Strategie dieses Wissen über die Regionen anzuwenden, ist die Wahl einer Route, die an vielen Orten in der Zielregion vorbeiführt. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit, zufällig das Ziel zu finden, erhöht werden. Wenn das Wissen über die Regionen jedoch direkt zugänglich ist, so ist ein weiterer Abstraktionsprozess nicht notwendig. Die im Schlaf erfolgenden Prozesse, die sich positiv auf die Gedächtniskonsolidierung auswirken, können somit keinen zusätzlichen Effekt erzielen.

Wiener und Mallot (2003) entwickelten aus ihren Ergebnissen eine hierarchische Planungsstrategie: die Fine-to-Coarse-Strategie. Diese Strategie geht von verschiedenen Ebenen räumlicher Repräsentationen aus. Im Arbeitsgedächtnis wird eine fokale Repräsentation gebildet, die aus detaillierten Informationen über die aktuelle Position und groben Informationen über entfernte Orte aus dem räumlichen Langzeitgedächtnis besteht. Die fokale Repräsentation erlaubt unmittelbare Entscheidungen über die nächste Bewegung. Es ist gut vorstellbar, dass auch in der vorliegenden Studie die Probanden diese Strategie zumindest am Anfang anwendeten. Im Verlauf

5. Diskussion

des Experiments könnte es jedoch zur Kombination mit anderen Strategien gekommen sein, zum Beispiel der Memoisierung (Huys et al., 2015). Strategien, wie zum Beispiel das *pruning*, bei dem ein unmittelbarer Nachteil zur Vernachlässigung einer möglicherweise erfolgreichen Route führt, oder der hierarchischen Fragmentisierung, bei der Zwischenziele definiert werden, würden einen stärkeren Regioneneffekt vermuten lassen; zumindest, wenn sie auf den semantisch definierten Regionen basieren. Die Memoisierung geht davon aus, dass es unter Umständen effizienter ist, wenn eine Aufgabe wiederholt gestellt wird, die vorherige Lösung aus dem Gedächtnis abzurufen, anstatt sie erneut mit einer Methode wie der Fine-to-Coarse-Strategie zu konstruieren. Für das hier beschriebene Experiment würde das bedeuten, dass sich die Probanden möglicherweise erfolgreiche Routen einprägten und beim erneuten Abruf diese einfach anwendeten, ohne auf die semantische Regionalisierung zu achten. Die relative Regionenpräferenz würde sich dann im Verlauf des Experiments nicht mehr verändern. Mit den Daten der Schlaf-Wachgruppe könnte diese These gestützt werden, da die relative Regionenpräferenz nahezu konstant bleibt. Die Ergebnisse der Wach-Schlafgruppe sprechen eher gegen die These, da die Regionenpräferenz bis zu 3. Sitzung zunimmt. Eine weitere Schlussfolgerung aus der Memoisierungsstrategie ist die Reduktion der Navigationsfehler. Die Ergebnisse können diese Vermutung untermauern, da in beiden Gruppen die Navigationsfehler von der 1. bis zur 3. Sitzung abnehmen und in der 4. Sitzung nur wenig wieder zunehmen. Unterstützung erhält die These der Memoisierungsstrategie auch durch die Analyse der Reliabilität der relativen Regionenpräferenz und der Navigationsfehler. Die relative Regionenpräferenz korrelierte nur zwischen den Sitzungen einer Phase und nicht über die Phasen hinweg. Innerhalb einer Umgebung bildete sich eine stabile Regionenpräferenz, die jedoch nicht auf die andere Umgebung übertragen wurde. Die Stabilität der Regionenpräferenz in einer Umgebung könnte auf der Memoisierungsstrategie beruhen. Geht man davon aus, dass die Routen auf dem Landmarkenwissen basieren, so bleibt die Anwendung der Memoisierungsstrategie trotz dieser unterstützenden Ergebnisse fraglich, da die Aufgabenstellung sich durch die neuen Landmarken in Sitzung 3 veränderte und somit der Abruf memoisierter Routen in der neuen Umgebung nicht hilfreich gewesen wäre. Wenn die Routenplanung jedoch mithilfe des Graphen-Wissens, dem Abruf von Verbindungen, oder des Routenwissens, dem Abruf von Richtungsentscheidungen, gelöst wurde, so könnte die Memoisierungsstrategie eine mögliche Erklärung für das Ergebnismuster sein. Dies gilt jedoch nur, wenn kein oder nur wenig Überblickswissen aufgebaut wurde, da ansonsten eine relative Regionenpräferenz im Bereich der Zufallswahrscheinlichkeit zu erwarten gewesen wäre.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit der Ergebnisse ist die Hypothese, dass das Wissen über die Regionen nicht auf einer übergeordneten Ebene gespeichert wird, sondern Teil des Routenwissens ist. Eine kognitive Karte, die die regionale Unterteilung der Umgebung enthält, wird demnach nicht aufgebaut. Alles was zur Planung einer Route notwendig ist, wird im Arbeitsgedächtnis gespeichert und aus diesem abgerufen. Führt man den Regioneneffekt auf einen Prozess des Arbeitsgedächtnisses zurück, so wäre kein Einfluss des Schlafs zu erwarten, da im Arbeitsgedächtnis Inhalte nur vorübergehend gespeichert werden.

Diese Erklärung passt auch gut zu der Annahme, dass die Navigation auf verschiedenen Prozessen beruht (Chrastil, 2013), die abhängig von der Aufgabenstellung ausgewählt werden.

5. Diskussion

Eventuell hat Schlaf nur auf bestimmte Prozesse der Navigation Einfluss (Rauchs et al., 2008). Andere Prozesse, die beispielsweise zur Bewältigung der vorliegenden Navigationsaufgabe nötig sind, erfahren hingegen keine Förderung durch den Schlaf. In nachfolgenden Studien könnte man deshalb untersuchen, auf welche Prozesse der Navigation Schlaf einen Einfluss nimmt.

Abschließend lassen sich zwei Schlussfolgerungen festhalten: Zum Einen tritt die Präferenz der regionenkonsistenten Routen stabil auch nach mehrmaligem Testen auf. Zum Anderen konnte kein Einfluss des Schlafs auf den Regioneneffekt festgestellt werden. Unklar bleibt, ob es tatsächlich keinen Schlafeffekt gibt, oder ob das Ergebnis auf die beschriebenen Mängel im Design und auf die Wahl der Stichprobe zurückzuführen ist. Diese Frage sollte in Nachfolgestudien geklärt werden. Auf Grundlage der vorliegenden Studie ist ein Verwerfen der Hypothese, dass Schlaf die Konsolidierung des Regionendächtnisses fördert, nicht möglich.

6. Literaturverzeichnis

- Burgess, N. (2006). Spatial memory: how egocentric and allocentric combine. *Trends in cognitive sciences*, 10(12), 551-557.
- Burgess, N. (2008). Spatial cognition and the brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 77-97.
- Buzsáki, G. (2005). Theta rhythm of navigation: link between path integration and landmark navigation, episodic and semantic memory. *Hippocampus*, 15(7), 827-840.
- Chrastil, E. R. (2013). Neural evidence supports a novel framework for spatial navigation. *Psychonomic bulletin & review*, 20(2), 208-227.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 114-126.
- Dorrian, J., Rogers, N. L., & Dinges, D. F. (2005). Psychomotor vigilance performance: Neurocognitive assay sensitive to sleep loss (Doctoral dissertation, Marcel Dekker).
- Ferrara, M., Iaria, G., Tempesta, D., Curcio, G., Moroni, F., Marzano, C., ... & Pacitti, C. (2008). Sleep to find your way: the role of sleep in the consolidation of memory for navigation in humans. *Hippocampus*, 18(8), 844.
- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, 30(5), 425-447.
- Huys, Q. J., Lally, N., Faulkner, P., Eshel, N., Seifritz, E., Gershman, S. J., ... & Roiser, J. P. (2015). Interplay of approximate planning strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(10), 3098-3103.
- Inostroza, M., & Born, J. (2013). Sleep for preserving and transforming episodic memory. *Annual review of neuroscience*, 36, 79-102.
- Kosslyn, S. M., Pick Jr, H. L., & Fariello, G. R. (1974). Cognitive maps in children and men. *Child development*, 707-716.
- Lakoff, G. (1990). *Women, fire, and dangerous things: What categories reveal about the mind* (pp. 1987-1987). Chicago: University of Chicago press.
- Laux, L. F., & Lane, D. M. (1985). Information processing components of substitution test performance. *Intelligence*, 9(2), 111-136.

6. Literaturverzeichnis

- Lewis, P. A., & Durrant, S. J. (2011). Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata. *Trends in cognitive sciences*, 15(8), 343-351.
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129(1), 305-322.
- Newcombe, N., & Liben, L. S. (1982). Barrier effects in the cognitive maps of children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 34(1), 46-58.
- Nguyen, N. D., Tucker, M. A., Stickgold, R., & Wamsley, E. J. (2013). Overnight sleep enhances hippocampus-dependent aspects of spatial memory. *Sleep*, 36(7), 1051.
- Orban, P., Rauchs, G., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P., & Peigneux, P. (2006). Sleep after spatial learning promotes covert reorganization of brain activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(18), 7124-7129.
- Pituch, K. A., Whittaker, T. A., & Stevens, J. P. (2013). 2.7 Assumptions in Anova. In *Intermediate statistics: A modern approach*. (S.56-58). Routledge.
- Pomplun, M., Silva, E. J., Ronda, J. M., Cain, S. W., Münch, M. Y., Czeisler, C. A., & Duffy, J. F. (2012). The effects of circadian phase, time awake, and imposed sleep restriction on performing complex visual tasks: Evidence from comparative visual search. *Journal of vision*, 12(7), 14.
- Rauchs, G., Orban, P., Schmidt, C., Albouy, G., Balteau, E., Degueldre, C., ... & Peigneux, P. (2008). Sleep modulates the neural substrates of both spatial and contextual memory consolidation. *PLoS One*, 3(8), e2949.
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2015). Is it really robust?. *Methodology*.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427(6972), 352-355.
- Walker, M. P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and brain sciences*, 28(01), 51-64.
- Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, 437(7063), 1272-1278.
- Wiener, J. M., & Mallot, H. A. (2003). 'Fine-to-coarse' route planning and navigation in regionalized environments. *Spatial cognition and computation*, 3(4), 331-358.
- Wilhelm, I., Rose, M., Imhof, K. I., Rasch, B., Büchel, C., & Born, J. (2013). The sleeping child outplays the adult's capacity to convert implicit into explicit knowledge. *Nature neuroscience*, 16(4), 391-393.
- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities?. *Trends in cognitive sciences*, 14(3), 138-146.

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Paula Hilsendegen, Matrikel-Nr. 3775468, versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung des Regionengedächtnisses

selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, wobei ich alle wörtlichen und sinngemäßen Zitate als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Mir ist bekannt, dass ich meine Bachelorarbeit zusammen mit dieser Erklärung fristgemäß nach Vergabe des Themas in zweifacher Ausfertigung und gebunden im Prüfungsamt der Universität Tübingen abzugeben habe.

Tübingen, den 31. August 2015

PAULA HILSENDEGEN

A. Anhang

A.1. Einverständniserklärung

Probandeninformation zum Experiment

Experiment: Einfluss von Schlaf auf die Routenplanung
Name der Versuchsleiterin: Paula Hilsendegen

Sie werden an einem Experiment mit einer Navigationsaufgabe teilnehmen, bei dem der Einfluss von Schlaf auf den Aufbau von Routenwissen untersucht wird. Das Experiment wird ungefähr eine Stunde dauern.

Ihre während dieser Studie erhobenen persönlichen Daten werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen – in anonymisierter Form – veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden.

Tübingen, den _____ Unterschrift: _____

Ich möchte eine Kopie der Einverständniserklärung

Einverständniserklärung zur Teilnahme

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

Ich erkläre, dass ich volljährig bin, und bereit, an dem o.g. Experiment teilzunehmen.

Ich habe den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und vollständig beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen, während dieser Studie erhobenen Daten im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert werden.

Tübingen, den _____ Unterschrift: _____

A.2. Aufgabeninstruktion

Deine Aufgabe: Du sollst die Plätze der Versuchswelt und die Wege von einem zum anderen kennenlernen. Jeder Platz ist gekennzeichnet durch ein Objekt und 2 Bilder des Objektes.

Das Experiment besteht aus 3 Teilen.

Im ersten Teil sollst du die Wege kennenlernen, und alle Plätze besuchen. Lass dir Zeit, präge dir die Wege gut ein, und besuche alle Plätze, auch die in den Sackgassen.

Der zweite Teil ist die Trainingsphase. Du sollst auf dem kürzesten Weg zum gezeigten Platz gehen. Falls du einen längeren Weg gehst, wirst du wieder an den Ausgangspunkt zurückgesetzt.

Der dritte Teil des Experiments ist die Testphase. Dabei sollst du auf dem KÜRZESTEN Weg alle eingeblendeten Plätze besuchen. Schau dir die Objekte an, und wenn du weißt, wie du laufen möchtest, drücke die Leertaste. Die Bilder der drei Plätze sind ständig auf dem zweiten Bildschirm eingeblendet.

ACHTUNG: Wähle den kürzesten Weg.

Los geht's: entdecke die Welt und ihre Wege- und viel Spaß!

A.3. Fragebögen

A.3.1. Regionenfragebogen

Name:
Geburtsdatum:
Studium/Beruf:

Datum:
Geschlecht:

Bitte kreisen Sie die Zahl ein, die am ehesten Ihrer Antwort entspricht:

Hat Ihnen das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

Wie schwer fanden Sie das Experiment?
sehr schwer 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr leicht

Wie gut schätzen Sie die eigene Leistung beim Finden der Ziele ein?
sehr schlecht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr gut

Haben Sie die Plätze gedanklich gruppiert? Wenn ja, wie?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

Hatten Sie das Gefühl, dass es in der Umgebung verschieden Regionen gab?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel

Fertigen Sie auf der Rückseite des Blattes eine Skizze der Umgebung an!

Hatten Sie eine Strategie für die Routenplanung ? (z.B. recht-links)

Haben Sie Anregungen, Anmerkungen oder Kritik?

A. Anhang

A.3.2. Fragebogen zur Schlafqualität

Code: _____

Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R)

Datum: _____ Ankunft: _____ Uhr

Licht aus: _____ Uhr Eingeschlafen: _____ Uhr

Licht an/ Aufgewacht: _____ Uhr

Anleitung:
 Die folgenden Fragen beziehen sich darauf, wie Sie in der letzten Nacht geschlafen haben. Kreuzen sie bitte die Antworten an, die für Sie am ehesten zutreffen. Gehen Sie bei der Beantwortung der Fragen zügig voran und lassen Sie keine Frage aus. Bitte sofort nach dem Aufwachen morgens ausfüllen!

1) Konnten Sie, nachdem Sie sich schlafen gelegt hatten, gleich einschlafen?

Ja	
Nein, erst nach 10 min.	
Nein, erst nach 20 min.	
Nein, erst nach 40 min.	
Nein, erst nach 1 Stunde.	
Nein, erst nach mehr als 1 Stunde.	
Ich konnte überhaupt nicht schlafen.	

a) Falls Nein, welches waren die Gründe? (Mehrfachnennungen möglich)

Persönliche/ berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	
Beschäftigung mit Tagesereignissen	
Ungewohnte Schlafumgebung	
Sonstige	

2) In der Einschlafphase hat man hin und wieder plötzlich deutliche Bildeindrücke. War dies gestern Abend bei Ihnen so?

Nein	Bin nicht sicher	Ja, sehr deutlich

3) Hatten Sie während der Einschlafphase Muskelzuckungen in den Armen oder Beinen?

Nein	Leicht	Stark

A. Anhang

Seite 2 des Fragebogens zur Schlafqualität

4) Sind Sie gestern nach dem Einschlafen nachts wieder aufgewacht?

Nein	1x	2x	3x	>3x

a) Falls Ja, welches waren die Gründe? (Mehrfachnennungen möglich)

Persönliche/ berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	
Ich musste zur Toilette.	
Ich hatte schlecht geträumt.	
Sonstige	

b) Falls Ja, wie lange waren Sie ungefähr wach? (Schätzen Sie bitte)

1. Aufwachen	Dauer (min):	
2. Aufwachen	Dauer (min):	
3. Aufwachen	Dauer (min):	
4. Aufwachen	Dauer (min):	

5) Können Sie sich erinnern, ob Sie heute Nacht geträumt haben?

Nein, ich kann mich nicht erinnern geträumt zu haben.	
Ja, ich habe geträumt, kann mich aber nicht mehr an den Trauminhalt erinnern.	
Ja, ich habe geträumt und kann mich an den Trauminhalt erinnern.	

a) Falls ja, welche Gefühle hatten Sie während des Träumens?
(Mehrfachnennungen möglich)

Angenehm	Neutral	Unangenehm

b) Falls ja, was war (grob) der Inhalt der Träume?

6) Haben Sie in der letzten Nacht geschwitzt?

Nein	Leicht	Stark

7) Haben Sie heute Morgen Kopfschmerzen?

Nein	Leicht	Stark

A. Anhang

Seite 3 des Fragebogens zur Schlafqualität

8) War der gestrige Tag für Sie anstrengend?

Nein	Ein wenig	Sehr

Anleitung:

Auf dieser Seite finden Sie einige Wörter, mit denen Sie beschreiben können, wie Sie sich gestern Abend fühlten, wie Sie heute Nacht geschlafen haben und wie Sie sich heute Morgen fühlen. Kreuzen Sie hinter jedem Wort an, in welchem Ausmaß es für Sie zutrifft. Bitte antworten Sie zügig und lassen Sie keine Zeile aus!

9) Wie haben Sie letzte Nacht geschlafen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) gleichmäßig					
b) tief					
c) gut					
d) entspannt					
e) ungestört					
f) ruhig					
g) ausgiebig					

10) Wie fühlten Sie sich gestern vor dem Schlafengehen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) sorglos					
b) erschöpft					
c) schlafbedürftig					
d) überfordert					
e) ausgeglichen					
f) ruhig					
g) müde					
h) entspannt					

11) Wie fühlen Sie sich heute Morgen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) ausgeglichen					
b) dösig					
c) tatkräftig					
d) munter					
e) frisch					
f) ausgeschlafen					
g) entspannt					

A.3.3. Santa Barbara Sense of Direction Scale

SANTA BARBARA SENSE-OF-DIRECTION SCALE

Sex: ___ Today's Date: _____ Age: _____ Vp: _____

This questionnaire consists of several statements about your spatial and navigational abilities, preferences, and experiences. Circle the number that indicates your level of agreement.

1. I am very good at giving directions.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

2. I have a poor memory for where I left things.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

3. I am very good at judging distances.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

4. My "sense of direction" is very good.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

5. I tend to think of my environment in terms of cardinal directions (N, S, E, W).

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

6. I very easily get lost in a new city.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

7. I enjoy reading maps.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

8. I have trouble understanding directions.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

9. I am very good at reading maps.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

10. I don't remember routes very well while riding as a passenger in a car.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

11. I don't enjoy giving directions.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

12. It's not important to me to know where I am.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

13. I usually let someone else do the navigational planning for long trips.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

14. I can usually remember a new route after I have traveled it only once.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

15. I don't have a very good "mental map" of my environment.

strongly agree 1 2 3 4 5 6 7 strongly disagree

A. Anhang

A.3.4. Zahl-Symbol-Test

10. Zahlen-Symbol-Test

1	2	3	4	5	6	7	8	9
—	⊥	⊐	L	U	O	Λ	X	=

Punkte

90"

Beispiel

2	1	3	7	2	4	8	2	1	3	2	1	4	2	3	5	2	3	1	4	5	6	3	1	4	

1	5	4	2	7	6	3	5	7	2	8	5	4	6	3	7	2	8	1	9	5	8	4	7	3	

6	2	5	1	9	2	8	3	7	4	6	5	9	4	8	3	7	2	6	1	5	4	6	3	7	

9	2	8	1	7	9	4	6	8	5	9	7	1	8	5	2	9	4	8	6	3	7	9	8	6	

A. Anhang

A.3.5. Stanford Schläfrigkeitsskala

Code: _____

Stanford-Schläfrigkeitsskala

vor Lernen vor Abruf

Probanden-Nr: _____

Datum: _____

morgens abends

Im Folgenden soll der Grad der Schläfrigkeit (wie wach fühlen Sie sich?) erhoben werden:

Kreuzen Sie bitte das entsprechende Kästchen an.

Schläfrigkeitsgrad	Punktwert
Ich fühle mich aktiv, lebhaft, aufmerksam oder sehr wach.	1
Ich kann konzentriert arbeiten, habe aber kein Leistungshoch.	2
Ich fühle mich wach, entspannt und aufnahmefähig, aber nicht voll konzentriert	3
Ich fühle mich irgendwie träge.	4
Ich fühle mich träge, verlangsamt und könnte mich hinlegen	5
Ich fühle mich schläfrig, benebelt, kämpfe gegen die Müdigkeit und würde mich lieber hinlegen	6
Ich bin kurz vor dem Einschlafen und habe bereits Traumdeutungen	7
Ich schlafe	8