

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung räumlichen Wissens

Bachelorarbeit an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Eberhard Karls Universität Tübingen

vorgelegt von: Matthias Philipp Baumann

Matrikelnummer: 3774045

Studienbereich: Biologie

Betreuerin: Wiebke Schick

Gutachter: Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Tübingen, den 20. Juli 2016

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese schriftliche Abschlussarbeit selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe.

Tübingen, Juli 2016

(Matthias Philipp Baumann)

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
1. Einleitung	5
2. Methoden	10
2.1. Experimenteller Aufbau.....	10
2.2. Prozedur.....	13
2.2.1. Sitzung 1	14
2.2.2. Sitzung 2	14
2.2.3. Navigationsversuch	14
2.2.4. Vorversuch.....	15
2.3. Probanden.....	16
2.4. Variablen von Interesse	16
3. Ergebnisse	19
3.1. Stanford Schläfrigkeitsskala	19
3.2. Tageszeiteffekt.....	19
3.3. Effekt von Schlaf auf die Navigationsleistung	20
3.4. Gender Effekt	21
3.5. Korrelation zwischen Sketch Map Score und Navigationsleistung	23
3.6. Vergleich der einzelnen Routen	24
4. Diskussion	27
4.1. Reiseübelkeit	27
4.2. Einfluss von Schlaf und die Interpretation der Navigationsleistungen.....	27
4.3. Kartenskizzen und die Korrelation zwischen Sketch Map Score und Navigationsleistung	29
4.4. Ausblick	31
5. Anhang	32
6. Literaturverzeichnis	36

Abstract

In dieser Studie wurde der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung von räumlichem Wissen in der virtuellen Versuchsumgebung Hexatown untersucht.

Navigation und Orientierung bauen auf verschiedenen Gedächtnisleistungen auf. Da während des Schlafes Gedächtnisinhalte transformiert und konsolidiert werden, ist eine förderliche Wirkung des Schlafes auf die Gedächtniskonsolidierung auch in der Raumkognition zu vermuten.

22 Probanden wurden auf zwei Gruppen verteilt: Eine Gruppe, im Folgenden die Schlaf-Gruppe genannt, absolvierte die erste Sitzung am Abend, die zweite am Morgen des folgenden Tages und schlief zwischen den beiden Sitzungen. Bei der zweiten, der Wach-Gruppe dagegen fanden beide Sitzungen am selben Tag statt. In beiden Sitzungen mussten die Probanden die gleichen 18 Routenaufgaben lösen, und die kürzeste Strecke zwischen jeweils zwei der zehn vorhandenen Plätze finden (Traveling-Salesman-Problem). Nach der 2. Sitzung füllten die Probanden einen Fragebogen aus, der auch das Zeichnen einer Kartenskizze der Versuchsumgebung beinhaltete.

Ein signifikanter Effekt von Schlaf auf die Navigationsleistung nicht beobachtet. Jedoch zeigten beide Gruppen einen signifikanten Lerneffekt zwischen den Sitzungen. Auch eine signifikante Korrelation zwischen der Fehlerrate und der Qualität der Kartenskizzen wurde nachgewiesen. Die erhobenen Daten zeigen also einen Lerneffekt bei der Navigationsleistung und befürworten das Erstellen von Kartenskizzen als Maß für räumliches Wissen. Aus ihnen wird jedoch die Bedeutung des Schlafes für die Konsolidierung räumlicher Strukturen nicht ersichtlich.

1. Einleitung

Die alltägliche Navigation des Menschen durch die Umwelt ist ein Zusammenspiel verschiedenster kognitiver Prozesse. Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, mit denen wir unsere Wege planen, werden ständig abgeglichen mit aktuellen Sinneseindrücken. Dass das Gedächtnis eine wichtige Rolle für unsere Orientierung spielt, wird einem bewusst, wenn die Gedächtnisleistung z.B. durch neurodegenerative Erkrankungen eingeschränkt wird. Alzheimer-Patienten leiden häufig unter Orientierungsschwierigkeiten in neuen Umgebungen, da ihre Fähigkeit zur Integration von Landmarken und Routen in Gedächtnisrepräsentationen beeinträchtigt ist (Monacelli, Cushman, Kavcic, & Duffy, 2003). Da also die Orientierung und Navigation stark auf Gedächtnisleistungen aufbauen, ist auch eine förderliche Wirkung beim Aufbau mentaler räumlicher Repräsentationen zu vermuten. Die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes integriert neue, codierte Erinnerungen mit bereits vorhandenen Gedächtnisinhalten und induziert Konformationsänderungen in der jeweiligen Repräsentation (Diekelmann & Born, 2010).

Ich beginne mit einem Überblick über der Raumkognition und die sie konstituierenden Prozesse, um dann auf die speziell für meine Fragestellung wichtigen Punkte sowie die Rolle des Schlafes einzugehen. Darauf folgen Einblicke in die theoretische Vorarbeit, auf die meine Arbeit aufbaut.

Wichtige Prozesse der Raumkognition auf die ich in den folgenden Absätzen eingehen werde, sind Wegintegration, *spatial updating*, Zielfahrt, Zielführung und Wegweisung.

Wie sind wir in der Lage, nahezu mühelos ein Auto auf einem großen Parkplatz wieder zu finden? Für diese Fähigkeit spielt der Hippocampus eine wichtige Rolle. Er befindet sich im medialen Teil des Temporallappens und beinhaltet unter anderem Ortszellen. Einzelzell-Ableitungen an einzelnen Neuronen im Hippocampus von Ratten haben gezeigt, dass so eine Zelle feuert, wenn sich das Tier an einer bestimmten Stelle im lokalen Raum befindet. Benachbarte Ortszellen feuern für unterschiedliche Stellen im Raum, sodass anhand der jeweils feuernden Zellen Rückschlüsse über die aktuelle Position des Tieres möglich sind (Moser, Kropff, & Moser, 2008; J. O'Keefe, 1976). Ein anderer wichtiger Input für die Orientierung im Raum ist die Eigenbewegung, deren

Repräsentation vestibuläre, propriozeptive und visuelle Informationen umfasst. Durch die Wegintegration, einen oft inzidentellen Prozess, der Startposition und Aspekte der Eigenbewegung wie Geschwindigkeit berücksichtigt und in Bezug setzt zur aktuellen Position, findet ein kontinuierliches *spatial updating* statt. Dieser Mechanismus ermöglicht außerdem die Bestimmung des Heimvektors, dieser ist definiert als der Vektor zwischen einem Ausgangspunkt und der aktuellen Position (Karnath, 2012). Um also z.B. sein Auto auf einem großen Parkplatz wieder zu finden, ist eine Integration erforderlich, die im Arbeitsgedächtnis die Informationen über die aktuelle Position, Bewegungen und die dadurch veränderte Position enthält. Platzzellen von Ratten bekommen, den zur Wegintegration benötigten Input von Gitterzellen. Gitterzellen ähneln Platzzellen, da sie an bestimmten Positionen feuern, jedoch feuern sie nicht nur für eine bestimmte Stelle im Raum, sondern für mehrere Stellen die ein gleichmäßiges trianguläres Gitter innerhalb der gesamten Umgebung bilden. Das Gitter verschiedener Gitterzellen ist versetzt, wodurch eine Fläche in gleichförmige Teilflächen aufgeteilt wird (Tesselation). Es wird davon ausgegangen, dass Gitterzellen die metrischen Informationen der räumlichen Navigation kodieren (Moser et al., 2008).

Während die Wegintegration eine Leistung des Arbeitsgedächtnisses ist, benötigt man für das Erkennen eines Zieles, z.B. seines Autos, ein Langzeitgedächtnis (Karnath, 2012). Das so genannte Ortsgedächtnis, indem u.a. Landmarken gespeichert sind und das eine mentale Repräsentation der Umwelt kreiert, ermöglicht die Navigation anhand von Landmarken. Die Literatur unterteilt das räumliche Wissen in verschiedene Kategorien: Landmarkenwissen, Routenwissen, Graphenwissen und Überblickswissen (Chrastil, 2013; Hirtle & Jonides, 1985). Das Landmarkenwissen umfasst sowohl die Erkennung von Orten und der eigenen Position, als auch die Identifizierung von Entscheidungspunkten. Landmarken sind wahrnehmbare Aspekte der Umwelt und können verschiedene sensorische Modalitäten haben. So kann z.B. eine läutende Kirchenglocke eine akustische Landmarke darstellen, oder ein markant riechender Stall eine olfaktorische. Bei der Auswahl von Landmarken spielt sowohl die Auffälligkeit und Unterscheidbarkeit (Salienz), als auch die Beständigkeit (Permanenz), eine Landmarke an derselben Position wieder zu finden, eine Rolle. Die einfachste Form der Navigation mit Landmarken ist die Zielfahrt (*aiming*; Franz & Mallot, 2000). Hierbei ist das Ziel der Navigation eine bereits sichtbare Landmarke

(Franz & Mallot, 2000). Wenn das Ziel nicht durch eine einzelne, sondern durch die Konstellation mehrerer Landmarken definiert ist, spricht man von Zielführung (*guidance*; Karnath, 2012; O'Keefe & Nadel, 1978). Ein Modell zur Implementierung der Zielführung ist das Speichern visueller Information. Die als „Schnappschuss“ gespeicherte visuelle Information der Zielposition wird dabei ständig mit der aktuellen Position verglichen. Durch Bewegungen, die die Unterschiede des Schnappschusses (view graph) und des aktuellen Bildes minimieren, kann das Ziel gefunden werden (Gillner, Weiss, & Mallot, 2008). Befindet sich das Ziel an einem noch verdeckten Ort, ermöglicht die Wegweisung (*direction, recognition-triggered-response*) diese zu finden. Hierbei werden Landmarken mit durchzuführenden Bewegungen und Richtungsentscheidungen, verknüpft die zum Ziel oder zu weiteren Orten, die Landmarken mit wegweisender Funktion enthalten, führen. Diese einzelnen Navigationsschritte lassen sich zu Routen verknüpfen. Bei der Wegweisung wird im Gedächtnis eine Landmarke mit einer Aktion verknüpft, die durchgeführt wird, wenn die Landmarke erkannt wird. Solche Reiz- Reaktions-Mechanismen, die eine Kette von Navigationsentscheidungen mit einem bestimmten Ort assoziieren, werden dem Routenwissen zugeordnet. Die Anordnung dieser Routen, ihre Verknüpfungen mit einander, sowie andere die Raumwahrnehmung beeinflussende Faktoren, wie z.B. Regionengrenzen, werden als Graphen-Wissen zusammengefasst (Chrastil, 2013; Chrastil & Warren, 2014). Bei Ergänzung der Graphen mit metrischen Informationen, wie es z.B. bei der Wegintegration der Fall ist, spricht man von dem Überblickswissen. Das Überblickswissen, das oft als kartenähnlich beschrieben wird, umfasst die Informationen über die Distanzen und Winkel zwischen Orten und gibt Aufschluss über den Aufbau und die Strukturierung der Umgebung und ermöglicht zielabhängig neue kürzere Routen zu planen (Chrastil, 2013; Karnath, 2012).

Als Gedächtnis beim Menschen wird die Fähigkeit des Nervensystems bezeichnet, Informationen zu kodieren, abzuspeichern und wieder abzurufen. Der erste Schritt, Kodieren oder auch Enkodieren genannt, ist die erste Verarbeitung der wahrgenommenen Information, die zu einer mentalen Repräsentation führt. Die Enkodierung beginnt bei der Perception und kann sowohl neue Informationen über die Sinnesorgane mit einschließen als auch bereits bestehende Gedächtnisinhalte. Die so gewonnen Informationen werden dann im Hippocampus verarbeitet und können ins Langzeitgedächtnis überführt werden. Das Fallbeispiel des Patienten H.M., der nach

Entfernung des Hippocampus nicht mehr in der Lage war, ein Kurzzeitgedächtnis aufzubauen, war einer der ersten Hinweise auf die Rolle des Hippocampus für das Gedächtnis. H.M. war nicht mehr fähig, neue Gedächtnisinhalte in sein Langzeitgedächtnis zu integrieren (Diekelmann & Born, 2010; Squire, 2009).

Der häufige Vergleich des Gedächtnisses mit einer Festplatte aus einem Computer hinkt, da das Gedächtnis kein passiver Speicher ist, sondern stetiger Veränderung und Neuorganisation unterliegt. Die Konsolidierung ist ein zentraler Aspekt beim Transfer vom Kurz- ins Langzeitgedächtnis und dessen Festigung. Hierbei wird Information aus dem Hippocampus im Neocortex gespeichert. Die Konsolidierung erfolgt verstärkt während des Schlafes und begründet dessen wichtige Rolle für unser Gedächtnis. Versuche an Ratten zeigten erstmals 1994 den Zusammenhang zwischen Gedächtniskonsolidierung und Schlaf. Es wurde gezeigt, dass die Platzzellen, die beim Lernen einer Navigationsaufgabe aktiv waren, während des Schlafes in gleicher zeitlicher Abfolge reaktiviert wurden (Inostroza & Born, 2013; Wilson & McNaughton, 1994).

Anhand der Frequenzunterschiede bei EEG-Messungen werden verschiedene Typen von Schlaf unterschieden: der slow-wave-sleep (SWS), der sich durch niederfrequente Delta-Wellen charakterisieren lässt und die Stadien 3 und 4 des Schlafes dominiert, und dem rapid eye movement sleep (REM-Schlaf), der sowohl mit Augenbewegungen als auch der höchsten Gehirnaktivität während des Schlafes assoziiert wird. Generell wird Schlaf in vier Stadien und den REM-Schlaf unterteilt: Stadium I, das kurz nach dem Einschlafen eintritt, ist gekennzeichnet durch Thetawellen (4 bis 7 Hz) und das Entspannen der Muskeln, sowie den Verlust der bewussten Wahrnehmung der Umwelt. Stadium II beinhaltet ebenfalls Thetawellen und darüber hinaus Schlafspindeln und K-Komplexe. Stadium III stellt den Übergang in den Tiefschlaf dar und zeigt hauptsächlich Deltawellen (0,1 bis < 4 Hz), die Muskelspannung nimmt weiterhin ab. Stadium IV ist die tiefste Schlafphase. Die Beobachtungen von Wilson & McNaughton (1994) fanden während des SWS statt. In einem Navigationsversuch in einer virtuellen Umgebung, bei dem eine Probanden-Gruppe einen Mittagsschlaf zwischen zwei Testphasen hielt, konnte ein positiver Effekt von Schlaf auf die Leistung guter Navigatoren gezeigt werden. Bei dem Experiment wurden darauf geachtet, dass der Mittagsschlaf der Probanden nur NREM-Schlaf, also hauptsächlich SWS, beinhaltete (Wamsley, Tucker, Payne, & Stickgold, 2010). Der NREM-Schlaf bildet die

erste Phase des Schlafes und zeigt weniger Hirnaktivität als die REM-Phase. Die Probanden wurden in diesem Versuch geweckt, sobald sich der REM-Schlaf angedeutet hat.

In dieser Arbeit untersuche ich den Einfluss von Schlaf auf die Leistung bei einer Routenplanaufgabe in einer virtuellen Umgebung. Die Navigationsleistung wurde durch die Analyse der gewählten Routen, ihrer Länge und der Richtungsentscheidungen ermittelt. Der Schlaf und dessen Qualität wurde mittels Fragebogen erhoben. Kartenskizzen, die die Probanden nach Beendigung der Navigationsaufgabe anfertigten, wurden als Maß für die Qualität der Lernleistung gewertet (Billinghurst & Weghorst, 1995).

2. Methoden

2.1. Experimenteller Aufbau

Die virtuelle Umgebung wurde mit der kostenlosen Version der Software Sketch Up 2015 modelliert. Als Laufzeit- und Entwicklungsumgebung ist die Unity Engine (Version 5.2.3.) verwendet worden. Das Navigationsexperiment wurde den Probanden über eine Oculus Rift Brille präsentiert. Die Navigation in der virtuellen Umgebung erfolgte mit einem X-Box 360-Controller (Abbildung 2) und der Oculus Rift Brille. Mit dem linken Stick des Controllers wurden von der Blickrichtung abhängige Translationen zum Bewegen durch die Versuchsumgebung durchgeführt. Mit dem A-Knopf wurden Einblendungen entfernt, sodass nur der Teil der Versuchsumgebung zu sehen war, an der sich der Proband gerade befand, sowie die Ziele bestätigt. Mit dem Halten des B-Knopfes konnte jederzeit das gesuchte Ziel eingeblendet werden. Die Veränderung der Ausrichtung der Oculus Brille führte zu entsprechender Änderung der Ansicht der Probanden. Zu diesem Zweck saßen die Probanden auf einem



Abbildung 1: Versuchsaufbau

Drehstuhl, mit dem sie die Rotationsbewegung mühelos durchführen konnten (Abbildung 1).



Abbildung 2: Verwendeter Controller

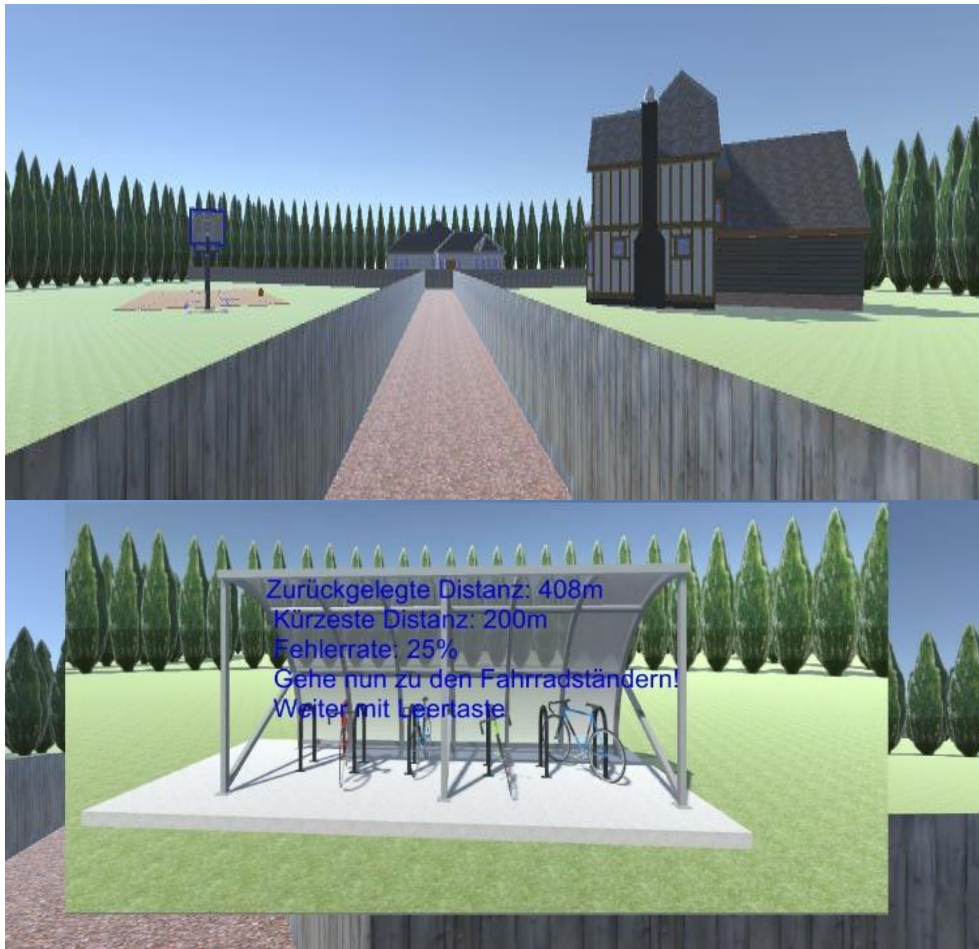


Abbildung 3: Beispiele für die Ansicht aus der Perspektive der Versuchsperson. Oben: beim Laufen. Unten: Bei der Präsentation des neuen Zieles mit Feedback zur vorherigen Route.

Die Versuchsumgebung bestand aus einem gleichseitigen Hexagon mit Sackgassen (iterated y-maze, Abbildung 4) und umfasste insgesamt 10 Plätze und 30 verschiedene Landmarken. An jedem Platz befanden sich immer drei Landmarken: zwei Häuser und ein stadttypisches Objekt, wie z.B. Bushaltestelle, Telefonzelle, Brunnen (Abbildung 3). Die Versuchspersonen konnten sich auf den eingezäunten, drei Meter breiten Wegen frei bewegen. Acht Meter hohe Wände mit Buschtextur blockierten die Sicht auf zwei Landmarken der benachbarten Plätze. Die Verzweigungen zweier Plätze waren immer 100 m voneinander entfernt. Sackgassen waren leicht zu erkennen, da diese Wege nach 50 m durch einen Zaun begrenzt waren und nicht wie sonst eine Landmarke des nächsten Platzes zu sehen war (Abbildung 4).

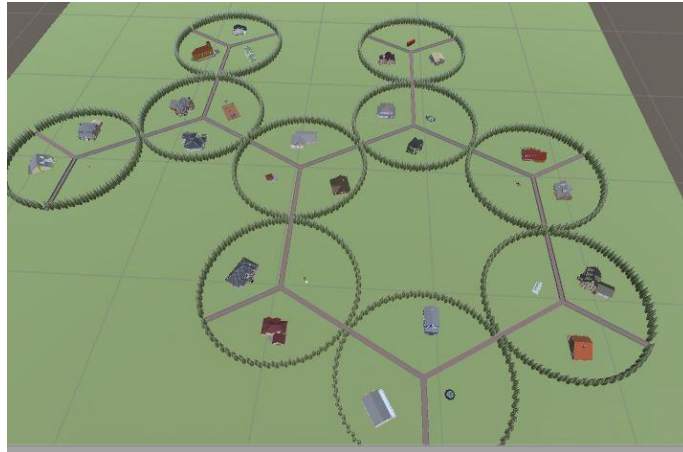


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Versuchsumgebung.

Die von mir verwendete Versuchsumgebung wurde nach dem Hexatown-Paradigma von Gillner & Mallot (1998) modelliert.

Alle Wege verlaufen bei diesem Paradigma auf einem hexagonalen Raster. Da alle Winkel und Abstände zwischen den Plätzen gleich sind, lassen sie sich nur anhand der Landmarken unterscheiden, die an jedem Platz stehen.

Bei der Modellierung der verwendeten Umgebung wurde das Layout der Karte von Gillner & Mallot um drei Plätze und folglich neun Landmarken erweitert (Abbildung 5 und 6).

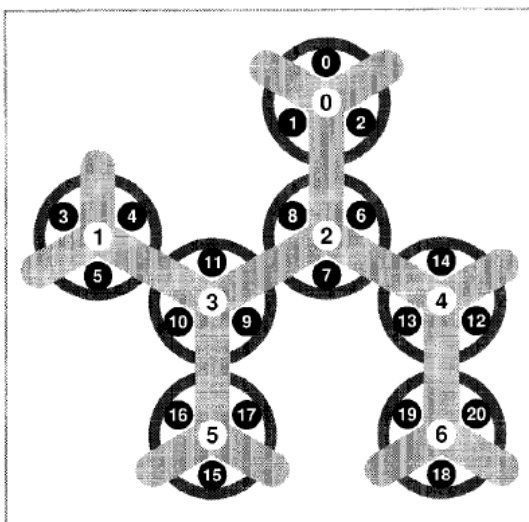


Abbildung 5: Verwendetes Kartenlayout von Gillner & Mallot (1998). Die Zahlen auf weißem Grund nummerieren die Plätze, die Zahlen auf schwarzem Grund die Landmarken.

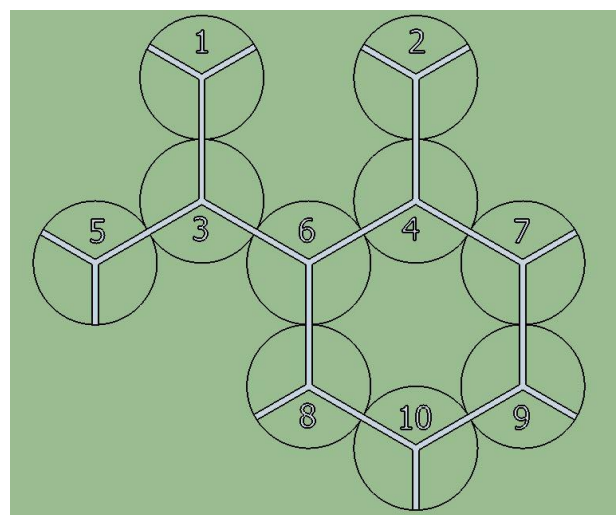


Abbildung 6: Verwendetes Kartenlayout. Die Zahlen nummerieren die Plätze.

2.2. Prozedur

„Virtual Reality“ (VR) ist ein Standardverfahren für Experimente der Raumkognition und birgt viele Vorteile gegenüber Freilandexperimenten. Vor allem durch die Möglichkeiten der Kontrolle der präsentierten Stimuli und die einfache, aber genaue, Datenerhebung zeichnet sie sich aus.

Um den Einfluss von Schlaf untersuchen zu können, wurden die Probanden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt: die Schlaf- und die Wach-Gruppe. Die Probanden der Wach-Gruppe absolvierten die erste Sitzung morgens und 12 Stunden später die zweite Sitzung. Sie wurden instruiert zwischen den Sitzungen keinen Mittagsschlaf zu halten und schliefen daher nicht. Die Schlaf-Gruppe absolvierte ihre erste Sitzung abends und 12 Stunden später am nächsten Morgen die zweite Sitzung. Zwischen den Sitzungen gingen die Probanden nach Hause und schliefen dort.

Tabelle 1: Aufbau des Experimentes getrennt nach Gruppen

Schlaf-Gruppe		
Sitzung 1 abends	Retention	Sitzung 2 morgens
-Einverständniserklärung -Stanford Schläfrigkeitsskala -Navigationsaufgabe	12-Stunden Mit Schlaf	-Stanford Schläfrigkeitsskala -Fragebogen zur Schlafqualität -Navigationsaufgabe -Fragebogen

Wach-Gruppe		
Sitzung 1 morgens	Retention	Sitzung 2 abends
-Einverständniserklärung -Stanford Schläfrigkeitsskala -Navigationsaufgabe	12-Stunden wach	-Stanford Schläfrigkeitsskala -Navigationsaufgabe -Fragebogen

2.2.1. Sitzung 1

Vor Beginn des Experimentes erhielten die Teilnehmenden eine Probandeninformation und unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

Anschließend füllten sie den Fragebogen zur Schlafqualität und die Stanford Schläfrigkeitsskala aus. Die Probanden der Schlaf-Gruppe hatten ihre erste Sitzung abends und füllten daher den Fragebogen zur Schlafqualität in dieser Sitzung nicht aus.

Vor dem Navigationsversuch wurde die Steuerung in der Versuchsumgebung und der Ablauf des Experimentes nochmals verbal erklärt. Nach Aufsetzen der Oculus Brille und kurzer Einführung in die Bedienung des Geräts startete das Experiment.

2.2.2. Sitzung 2

Die Versuchsteilnehmender beider Gruppen füllten erneut die Stanford Schläfrigkeitsskala aus. Die Probanden der Schlaf-Gruppe füllten zusätzlich noch den Fragebogen zur Schlafqualität aus. Nach erneuter schriftlicher und verbaler Erläuterung der Aufgabenstellung wurde der exakt gleiche Navigationsversuch der ersten Sitzung wiederholt. Anschließend füllten die Probanden einen Fragebogen mit Fragen zur subjektiven Einschätzung der Schwierigkeit des Experiments und der eigenen Leistung aus, der auch die Anfertigung einer Skizze der virtuellen Umgebung beinhaltete.

2.2.3. Navigationsversuch

Der experimentelle Ablauf war in allen Sitzungen identisch. Die Probanden wurden mit der Steuerung vertraut gemacht, indem sie nach Anleitung sich am Startplatz umschaute und in eine Sackgasse navigierten. Dieses kurze Training wurde genutzt, um den Sitz der Oculus Brille zu optimieren und Fragen bezüglich der Steuerung zu beantworten. Danach wurde das Programm neu gestartet und der Versuch begann ohne Exploration mit dem ersten Ziel.

Die Probanden starteten an der Verzweigung von Platz 1 und mussten nacheinander 18 Zielobjekte finden. Pro Platz gab es immer nur ein Objekt, das als Ziel fungierte. Die jeweils zwei anderen Objekte dienten als Distraktoren. Nach den ersten neun Zielen wiederholten sie sich in umgekehrter Reihenfolge, um jedes Ziel, mit Ausnahme dem am Start und Wendepunkt, zweimal abzufragen und dabei die Länge der Routen möglichst gleich groß zu halten. Die abgefragten Ziele bestanden aus fünf verschiedenen Häusern und fünf der stadttypischen Objekte. In Abbildung 7 ist die schematische Darstellung der Umgebung gezeigt und in Tabelle 2 die dazugehörige Reihenfolge der gefragten Routen bzw. Ziele.

Tabelle 2: Reihenfolge der gefragten Ziele mit kürzest möglicher Distanz

Route(Platznummer x – Platznummer y)	Ziel	Kürzeste Distanz zum Ziel [m]
1-6	Objekt (Bushaltestelle)	200
6-9	Objekt (Fahrradständer)	300
9-2	Objekt (Bus)	300
2-7	Haus	200
7-8	Haus	300
8-4	Haus	200
4-5	Haus	300
5-10	Objekt (Brunnen)	400
10-3	Haus	300
3-10	Objekt (Brunnen)	300
10-5	Haus	400
5-4	Haus	300
4-8	Haus	200
8-7	Haus	300
7-2	Objekt (Bus)	200
2-9	Objekt (Fahrradständer)	300
9-6	Objekt (Bushaltestelle)	300
6-1	Objekt (Kirche)	200

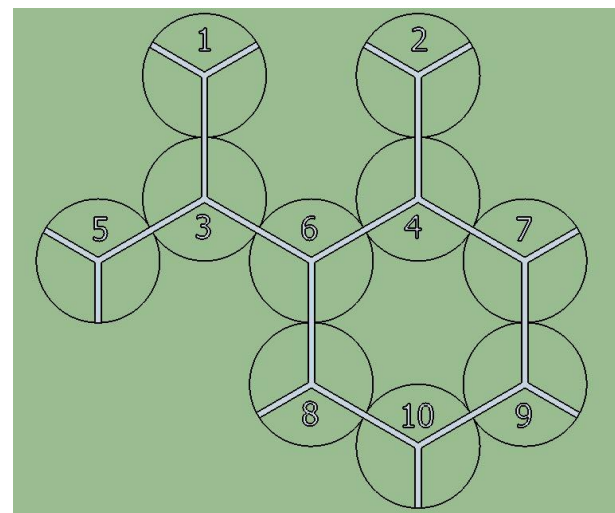


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Kartenlayouts mit durchnummerierten Plätzen.

2.2.4. Vorversuch

Um den Einfluss von Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung bezüglich der räumlichen Information betrachten zu können, ist es notwendig, in zwei Sitzungen zu testen. Es wurde ein Vorversuch durchgeführt um zu sehen, wie schwer das verwendete Kartenlayout zu lernen ist. Würde es schon nach einer Sitzung komplett memoriert werden, wäre kein Unterschied zwischen der Schlaf- und der Wachgruppe

zu erwarten. Der Vorversuch bestand aus der einmaligen Durchführung des Navigationsexperimentes an einem Computerbildschirm und wurden von zehn Probanden durchgeführt. Der Versuch ergab, dass die Probanden das Layout nicht vollständig lernen konnten, aber ihre Leistungen während des Experimentes verbesserten. Der Hauptversuch wurde im Gegensatz zum Vorversuch mit Oculus Brille durchgeführt, um vestibuläre Informationen zu berücksichtigen und um für Probanden ansprechender zu sein.

2.3. Probanden

An dem Experiment nahmen 25 Probanden teil. Drei Probanden (1 m, 2 f) brachen den Versuch während der ersten Sitzung vorzeitig ab. Ihre Daten wurden in die Analyse nicht mit einbezogen. Die 22 Probanden umfassende Untersuchungsgruppe (Alter: 20-27, Mittelwert=23,2), die beide Sitzungen absolvierte, bestand aus zwölf Männern und zehn Frauen. Alle waren normalsichtig oder trugen entsprechende Sehhilfen. Zur Fragestellung der Untersuchung hatten sie keine Vorkenntnisse und auch noch an keinem Versuch mit einer virtuellen Umgebung nach dem Hexatown-Paradigma teilgenommen.

2.4. Variablen von Interesse

Während des Experiments wurde zur Feststellung der Position der Testperson alle zwei Sekunden das entsprechende Koordinatenpaar notiert.

Die Navigationsleistung wurde mit zwei Parametern gewertet: durch die zurückgelegte Distanz (gemessen in Metern) und die Anzahl richtiger und falscher Navigationsentscheidungen. Eine Entscheidung wurde als richtig gewertet, wenn ein Proband mehr als 45 m auf dem Weg zu einem Platz zurücklegte, der die Entfernung von seiner aktuellen Position zum Ziel verkürzt. Umgekehrt wurde die Entscheidung als falsch gewertet, wenn er 45 m auf einem Weg zurücklegte, der die Entfernung zum Ziel vergrößert.

45 m wurden hierfür verwendet, da die Versuchsperson ab dieser Distanz alle Landmarken eines Platzes einsehen kann. Aus der Anzahl der falschen und richtigen

Entscheidungen ließ sich die Fehlerrate in Prozent ermitteln:

$$\frac{\# \text{ falsche Entscheidungen}}{\# \text{ gesamte Entscheidungen}} \times 100,$$

Die Zahl der gesamten Entscheidungen ergab sich aus der Summe der jeweiligen richtigen und falschen Entscheidungen.

Das Verhältnis von zurückgelegter zur kürzest-möglichen Route erhielten wir durch eine Berechnung des *Percentage above Optimum*.

Das *Percentage above Optimum* ergab sich aus $\frac{\text{zurückgelegte Strecke} - \text{Idealstrecke}}{\text{Idealstrecke}} \times 100$ und gibt an, wie viel Prozent man zusätzlich zur kürzesten Strecke gelaufen ist. Bei einem *Percentage above Optimum* von 0% wurde die Idealstrecke gelaufen, während bei einem Wert von 100% die doppelte Distanz der Idealstrecke zurückgelegt wurde.

Für die Auswertung der angefertigten Skizzen wurde für jede Zeichnung ein „Sketch Map Score“ ermittelt, der die Qualität der Skizze in Bezug auf Richtigkeit und Informationsgehalt repräsentiert. Dieser setzt sich aus den folgenden fünf Kriterien zusammen; pro erfülltes Kriterium gab es einen Punkt.

- i. Anzahl der Plätze: Gibt Auskunft, ob alle Plätze memoriert wurden und ob sie unter oder überschätzt werden. Bei Nennung aller Plätze gab es 1 Punkt, für jede Auslassung bzw. Überschuss wurde 1/10 abgezogen.
- ii. Struktur: Bewertet die metrische Information in Bezug auf Korrektheit der Winkel, Anzahl der Verzweigungen pro Platz. Es wurde in erster Linie darauf geachtet ob Rechtewinkel gezeichnet wurden. Für die Erkennung der hexagonalen Struktur gab es 1 Punkt.
- iii. Ringstruktur: Das Erkennen der Ringstruktur beinhaltet Information darüber, wie die Plätze miteinander verknüpft sind. 1 Punkt gab es für das Zeichnen des Rings. Struktur und Ringstruktur wurden unterschieden, um metrische Information unabhängig von erkannten Verknüpfungen zu berücksichtigen.
- iv. Ringabzweigung: Neben der Ringstruktur enthielt die Karte zwei Abzweigungen vom Ring. Das Erkennen von diesen und deren Position beinhaltet ebenfalls Information über die Verknüpfung der Plätze. Für jeden der beiden Abzweigungen gab es $\frac{1}{3}$ Punkt und $\frac{1}{3}$ Punkt für deren richtige Position am Ring.

- v. Richtig benannte Plätze: Um zusätzlich zur Verknüpfung der Plätze die Memorierung der Landmarken zu berücksichtigen, gab es für jeden richtig benannten Platz 0.1 Punkte. Ein Platz galt als richtig benannt, wenn eine Landmarke am richtigen Platz genannt wurden bzw. ein dort befindliches Haus beschrieben wurde.

Insgesamt konnten also 5 Punkte erreicht werden. Tabelle 3 zeigt die Kriterien und wie sie bewertet wurden.

Tabelle 3: Kriterien und Bewertung zur Ermittlung des Sketch Map Score

Kriterium		Bewertung
# Plätze	Stimmt die Anzahl der Plätze?	$1 - 0,1 * 10 - x $; $x = \# \text{Plätze}$
Struktur	Stimmen die Winkel? Richtige Anzahl der Verzweigungen pro Platz?	1 Punkt bei richtiger Struktur
Ringstruktur	Wurde die Ringstruktur erkannt?	1 Punkt für Ringstruktur
Ringabzweigungen	Wurden die Abzweigungen erkannt / Stimmt deren relative Position?	$\frac{1}{3}$ Punkt pro richtig erkannte Abzweigung + $\frac{1}{3}$ Punkt für deren richtige Position
Richtig benannte Plätze	Sind die Plätze richtig benannt?	0,1 Punkt pro richtiger Platz

Die statistischen Auswertungen wurden alle mit der Statistik-Software SPSS durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1. Stanford Schläfrigkeitsskala

Vor jeder Sitzung trugen die Probanden in der Stanford Schläfrigkeitsskala ihren Grad der Wachheit auf einer Skala von eins bis sieben ein. Unabhängig von den Tageszeiten waren die Werte der ersten Sitzung leicht höher als die der zweiten. Die Werte für die Probanden ohne Schlaf in Sitzung 1 (morgens) (Mittelwert (M) = 2,91; Standardabweichung (SD) = 1,22) und die mit Schlaf in Sitzung 1 (abends) (M = 2,73; SD=1,01) waren leicht höher als die der Probanden ohne Schlaf in Sitzung 2 (abends) (M = 2,55; SD = 1,13) und der mit Schlaf in Sitzung 2 (morgens) (M = 2,55; SD=1,04). Diese Werte bedeuten anhand der Skala, dass die Probanden wach und aufnahmefähig waren. Eine ANOVA ergab, dass es keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von Gruppe (Schlaf-/Wach-gruppe) und Tageszeitpunkt gab.

Sowohl zwischen den Gruppen, als auch zwischen den Sitzungen zeigten sich keine Unterschiede im Grad der subjektiv eingeschätzten Wachheit.

3.2. Tageszeiteffekt

Da Tageszeit und Phase des circadianen Rhythmus Einfluss auf kognitive Leistungen haben (Pomplun et al., 2012), wurden die Fehlerraten und die benötigten Zeiten für die die Sitzungen am Abend und am Morgen mit einem t-Test verglichen, um einen solchen Tageszeiteffekt auszuschließen.

In der Sitzung morgens (M = 20,45; SD = 4,87) lag die Fehlerrate minimal höher als abends (M = 20,34; SD = 6,09). Einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Testzeitpunkten gab es nicht ($p = 0,944$). Der t-Test ($t(42)=0,07$; $p= 0,944$) ergab keinen signifikanten Effekt.

Auch in Bezug auf die benötigte Zeit unterschieden sich die Zeitpunkte nicht signifikant ($p = 0,133$); morgens (M = 1531,73; SD =348,37) abends (M =1388,18; SD =268,13). Aber auch hier wies der t-Test keine signifikanten Unterschiede ($t(42)=1,532$; $p=0,133$) aus.

3.3. Effekt von Schlaf auf die Navigationsleistung

Für die statistische Analyse des Einflusses von Schlaf auf die Fehlerrate und die benötigte Zeit wählte ich eine 2x2 ANOVA mit den Faktoren *Sitzung* (1. Sitzung vs. 2.Sitzung) und *Schlaf* (ohne Schlaf vs. mit Schlaf). Die Analyse zeigte, dass der Faktor *Sitzung* einen signifikanten Effekt auf die Fehlerrate der Probanden hat, $F(1,21)=23,381$; $p<0,05$; $\eta^2=0,539$. Der Faktor *Schlaf* ($F(1,21)=0,005$; $p>0,05$; $\eta^2=0$) wie auch die Interaktion der Faktoren *Sitzung und Schlaf* ($F(1,21)=0,005$; $p=0,283$; $\eta^2=0,057$) zeigten keinen signifikanten Effekt. Ähnliche Ergebnisse gab es für die benötigte Zeit. Der Faktor *Sitzung* ($F(1,21)=86,759$; $p<0,05$; $\eta^2=0,813$) war auch hier signifikant und die Effektstärke war deutlich höher als bei der Fehlerrate. Für den Faktor *Schlaf* ($F(1,21)=1,891$; $p>0,05$; $\eta^2=0,086$) und die Interaktion der beiden Faktoren ($F(1,21)=0,291$; $p>0,05$; $\eta^2=0,014$) zeigte sich auch für die benötigte Zeit kein signifikanter Einfluss von Schlaf.

In den Abbildungen 8 und 9 sind die Fehlerraten und die benötigte Zeit der Gruppen für beide Sitzungen abgebildet. Die Werte der ersten Sitzungen für die Fehlerraten waren sowohl für die Wach-Gruppe ($M=22,65$; $SD=3,67$) als auch die Schlaf-Gruppe ($M=23,83$; $SD=2,93$), höher als in der zweiten Sitzung ($M=18,26$; $SD=5,06$ (ohne Schlaf) und $M=16,84$; $SD=6,5$ (mit Schlaf)).

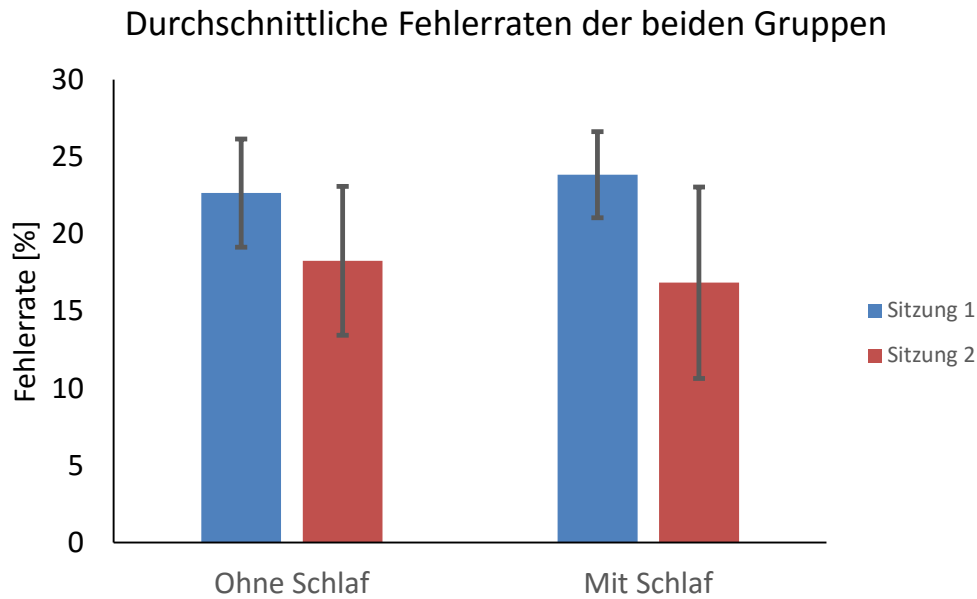


Abbildung 8: Mittelwerte der Fehlerraten in Prozent. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

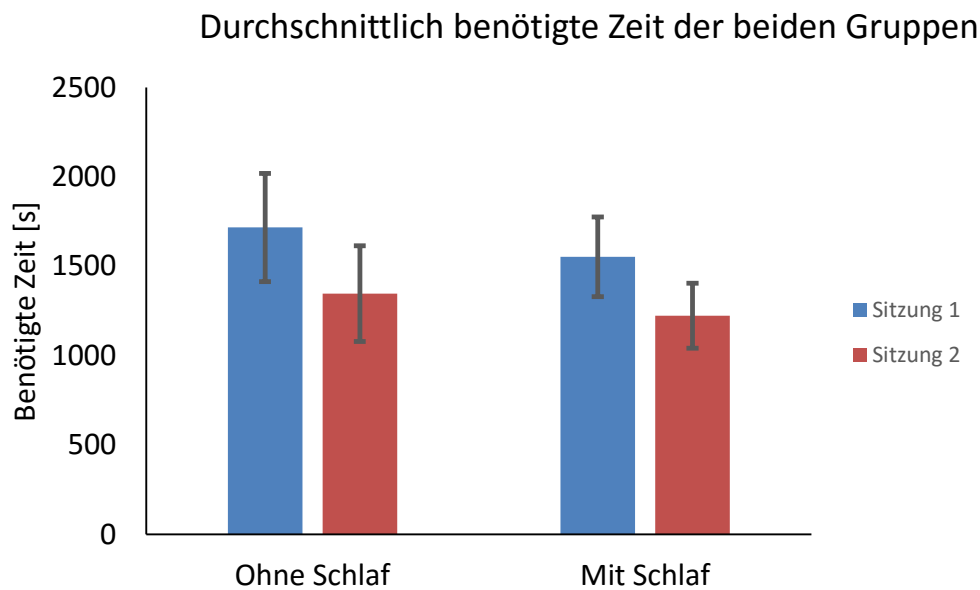


Abbildung 9: Mittelwerte der benötigten Zeit in Sekunden. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung

3.4. Gender Effekt

Um zu untersuchen, ob es einen Leistungsunterschied zwischen männlichen und weiblichen Versuchspersonen gibt, wurde auch hier eine 2x2 ANOVA berechnet. Als Innersubjektfaktor diente wieder Sitzung (1.Sitzung vs. 2.Sitzung) und der Zwischensubjektfaktor war das *Geschlecht* (männlich vs. weiblich). Sowohl für die Fehlerrate ($F(1,21)=0,003$; $p=0,956$; $\eta^2=0$), als auch für die benötigte Zeit

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung räumlichen Wissens

($F(1,21)=1,935$; $p=0,179$; $\eta^2=0,088$) ergab die Analyse keinen signifikanten Einfluss des Geschlechtes.

In Abbildung 10 und 11 sind die Fehlerraten und die benötigte Zeit nach Geschlecht, Gruppe und Sitzung aufgeschlüsselt abgebildet.

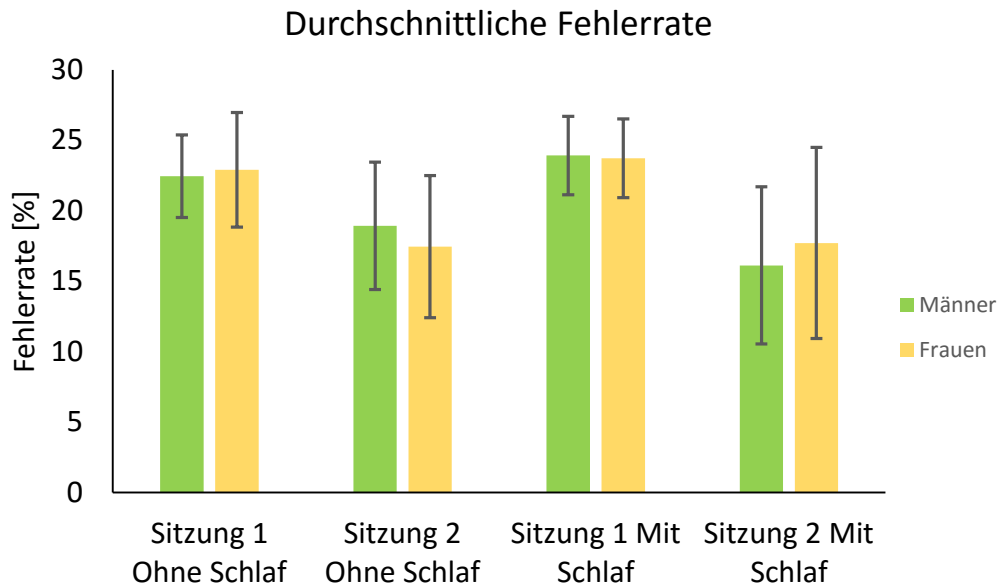


Abbildung 10: Mittelwerte der Fehlerraten in Prozent mit Standardabweichung

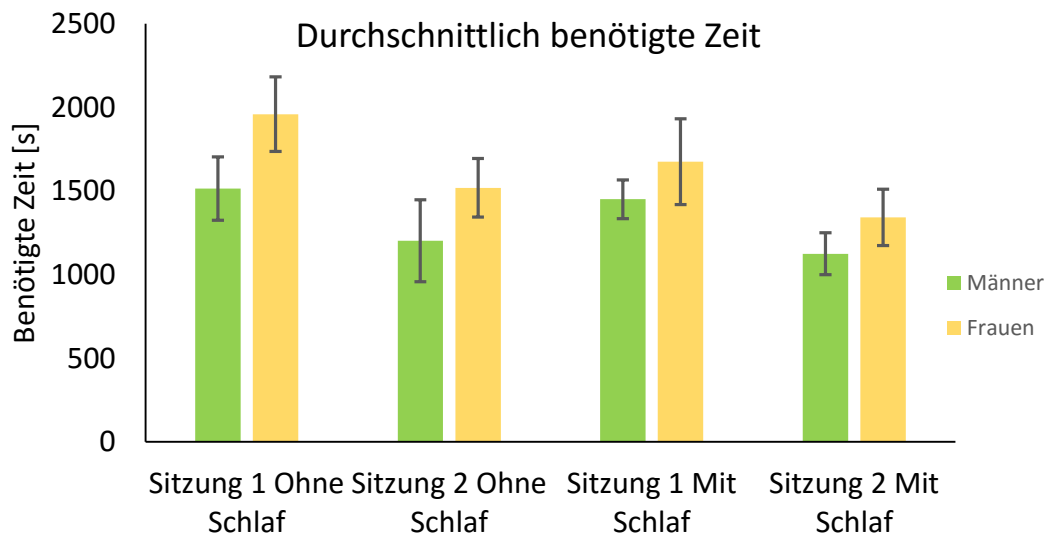


Abbildung 11: Mittelwerte der benötigten Zeit in Sekunden mit Standardabweichung.

3.5. Korrelation zwischen Sketch Map Score und Navigationsleistung

Um den Zusammenhang der Sketch Map Scores und der Navigationsleistung näher zu untersuchen, wurde eine Spearman-Korrelation verwendet. Hierbei wurde der Zusammenhang zwischen den Scores, die mit den im Methodenteil beschriebenen Kriterien ermittelt wurden, den Fehlerraten und den benötigten Zeiten der zweiten Sitzung berechnet.

Die Analyse zeigte einen negativen Zusammenhang für die Fehlerrate, der sich als signifikant herausstellte ($r(20)=-0,575$; $p=0,005$). Auch die benötigte Zeit korrelierte signifikant mit den Sketch Map Scores ($r(20)=-0,446$; $p=0,037$; Abbildung 12 und 13). Die Korrelationen sind beide negativ, was bedeutet, dass der Sketch Map Score, also die Skizzenqualität, mit abnehmender Fehlerrate zunimmt. Für die Zeit bedeutet das, dass Probanden, die schneller waren, bessere Karten gezeichnet haben. Im Anhang befinden sich Bilder aller Kartenskizzen mit den dazugehörigen Sketch Map Scores.

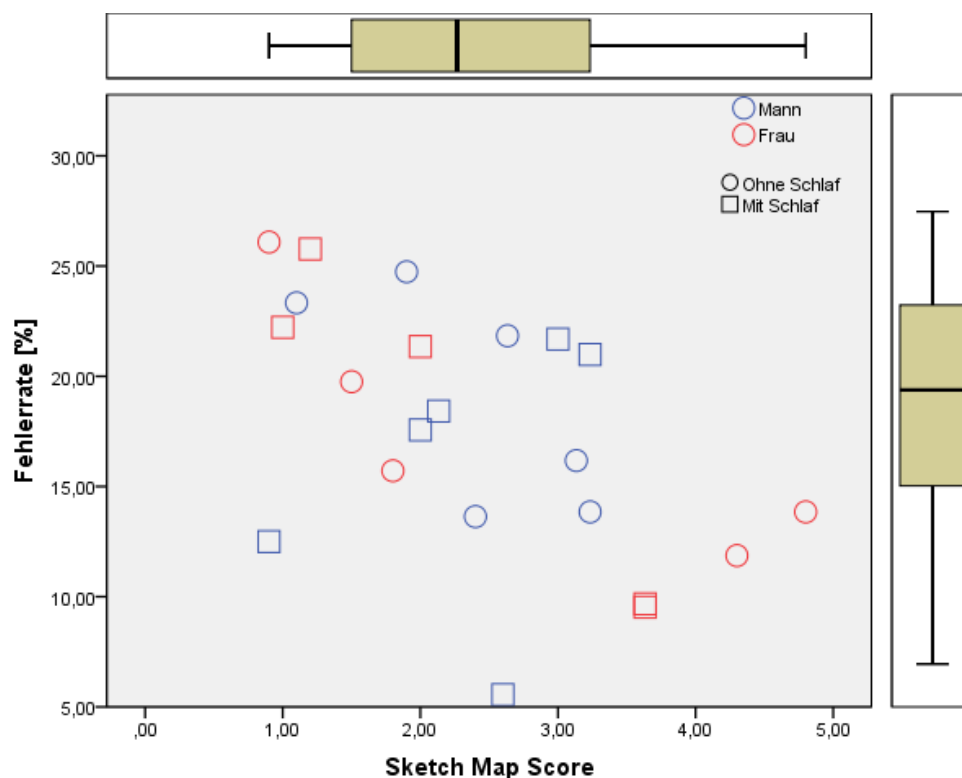


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Fehlerrate der zweiten Sitzung in Prozent und Sketch Map Score

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung räumlichen Wissens

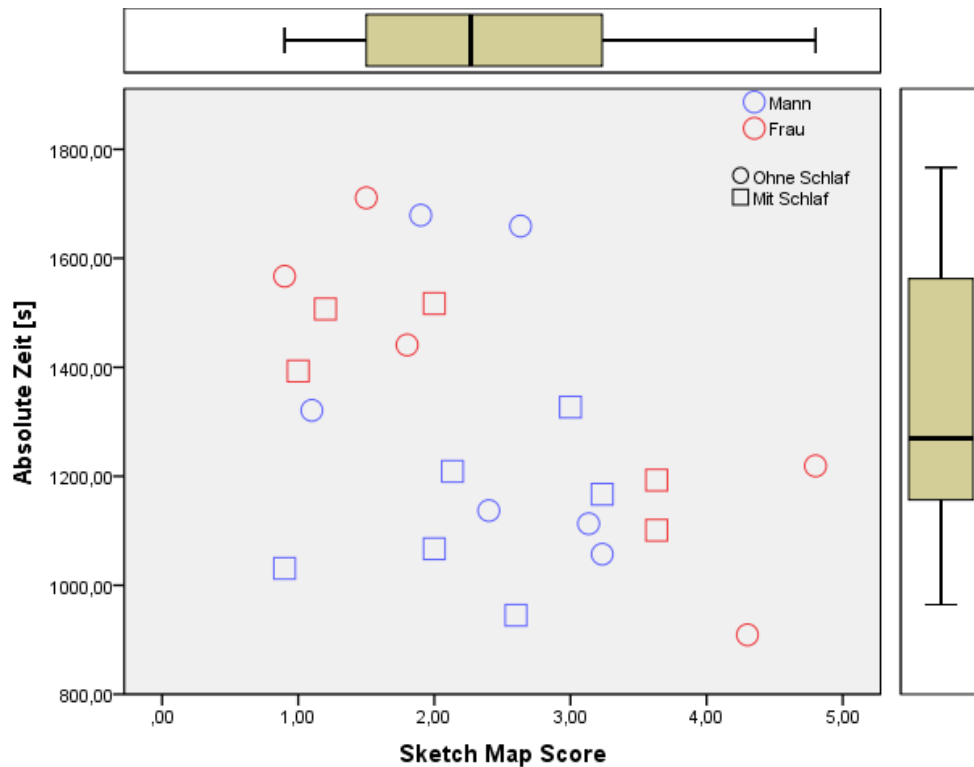


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen benötigter Zeit der zweiten Sitzung in Sekunden und Sketch Map Score

3.6. Vergleich der einzelnen Routen

In Abbildung 14 sind die Mittelwerte des *Percentage above Optimum* aller Probanden, die zwischen den beiden Sitzungen wachten, für alle Routen und beide Sitzungen dargestellt.

Für 14 der 18 Routen ist das *Percentage above Optimum* in der zweiten Sitzung kleiner als in der ersten, was für einen generellen Lerneffekt spricht. Der höchste Wert der ersten Sitzung mit 287% entstand auf der Route von Platz 8 zu 4. Der größte Wert der zweiten Sitzung mit 188% ergab sich bei der Route von Platz 4 nach 5. Die zusätzlich zurückgelegte Distanz deutet darauf hin, dass die Probanden sich nicht sicher waren, wo genau das Ziel ist, und suchen mussten. Das kann an Verwechslung mit anderen Plätzen, aber auch an der Schwierigkeit der erforderlichen Route liegen.

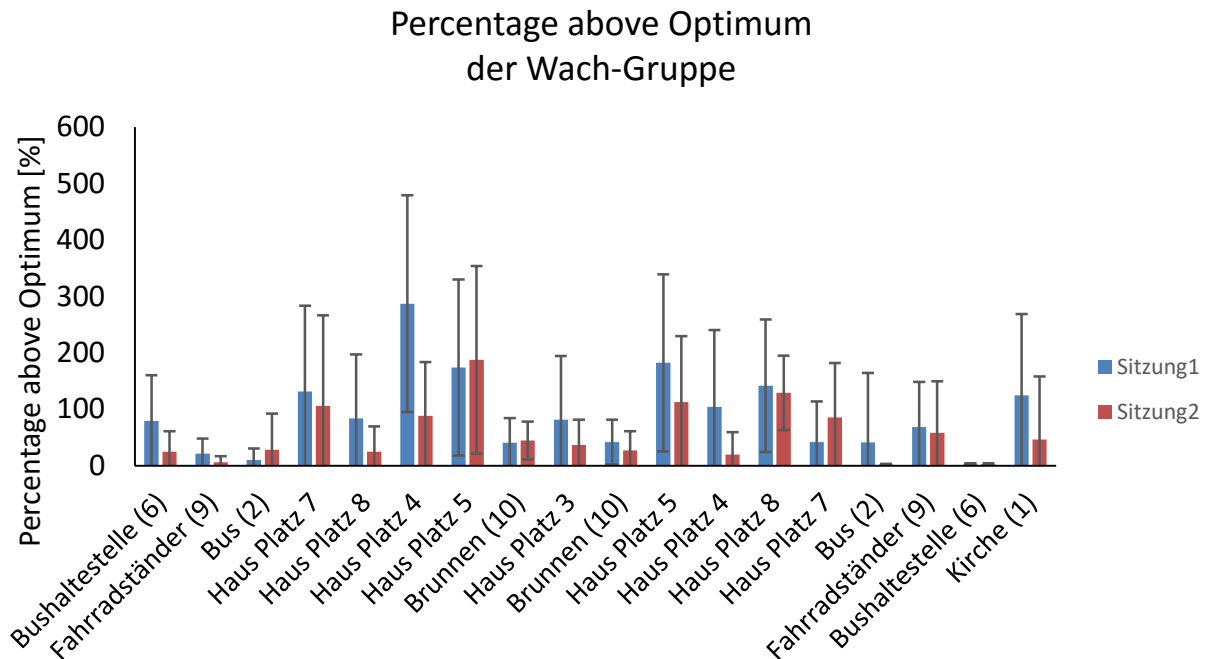


Abbildung 14: Mittelwerte des Percentage above Optimum im Prozent mit Standardabweichung für alle Probanden der Wach-Gruppe. Auf der x-Achse stehen die dazugehörigen Ziele. Die Zahlen in den Klammern stehen für die Nummer der Plätze, an denen sich das Zielobjekt befindet.

In Abbildung 15 sind die Mittelwerte des *Percentage above Optimum* aller Probanden der Schlaf-Gruppe für alle Routen und beide Sitzungen dargestellt. Ebenfalls ist für 14 der 18 Routen das *Percentage above Optimum* in der zweiten Sitzung kleiner als in der ersten, was auch hier für einen generellen Lerneffekt spricht. Der größte Wert der ersten Sitzung mit 306% entstand wieder auf der Route von Platz 8 zu 4. In beiden Gruppen wurde die längste zusätzlich zurückgelegte Distanz in der zweiten Sitzung bei der Route von Platz 4 nach Platz 5 gefunden.

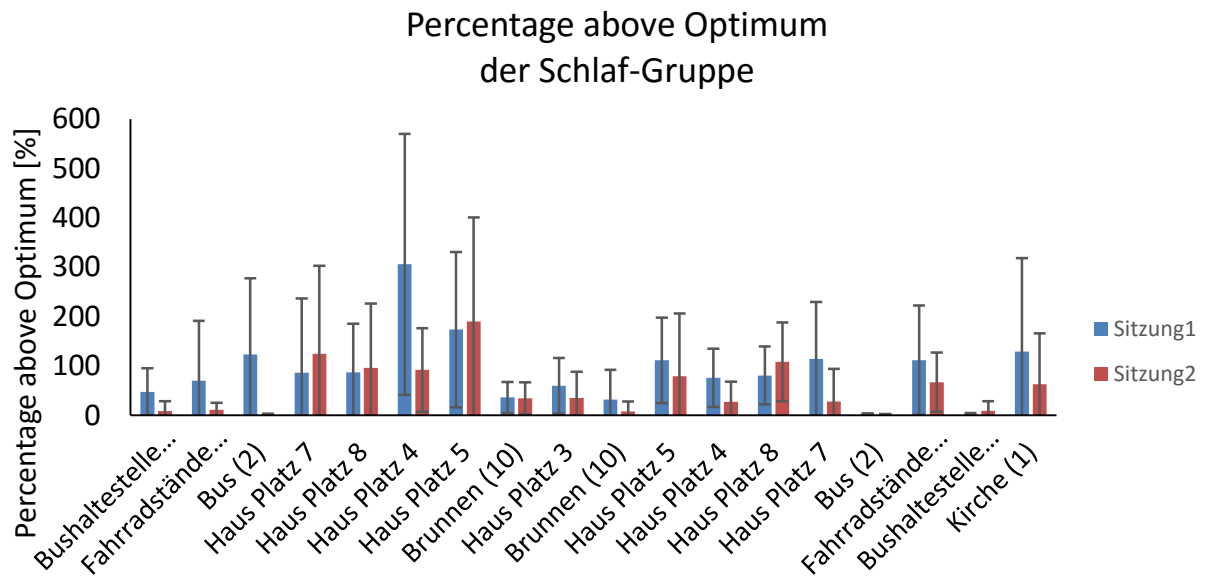


Abbildung 15: Mittelwerte des Percentage above Optimum von was? Weglänge, Zeit? Schreib das auch deutlich auf die Achse! im Prozent mit Standardabweichung für alle Probanden der Schlaf-Gruppe. Auf der x-Achse stehen die dazugehörigen Ziele. Die Zahlen in den Klammern stehen für die Nummer der Plätze, an denen sich das Zielobjekt befindet.

Für den subjektiv eingeschätzten Wachheitsgrad, angegeben mittels Stanford Schläfrigkeitsskala, ergaben sich sowohl zwischen den Gruppen als auch zwischen den Sitzungen keine signifikanten Unterschiede. Sowohl Tageszeitereffekt, Gendereffekt als auch ein Einfluss des Schlafs konnten nicht signifikant für Fehlerrate und benötigte Zeit nachgewiesen werden

Die Verbesserung der Fehlerrate und der benötigten Zeit zwischen 1. und 2. Sitzung waren für beide Gruppen signifikant. Ebenfalls signifikant waren die Korrelationen zwischen Sketch Map Score und Fehlerrate sowie Sketch Map Score und benötigter Zeit.

4. Diskussion

In dieser Studie wurde der Einfluss von Schlaf auf die Navigationsleistung in einer virtuellen Umgebung untersucht. Ein positiver Effekt des Schlafes wurde vermutet, da Navigation anhand von Landmarken und das darauf aufbauende räumliche Wissen eine Fähigkeit ist, die verschiedene Gedächtnissysteme involviert, wie z.B. das Arbeitsgedächtnis. Daher liegt es nahe, dass die Gedächtniskonsolidierung, die vor allem während des Schlafes erfolgt, eine positive Auswirkung auf die Navigationsleistung hat und diese in Form von Verringerung der Fehlerrate und benötigter Zeit zum Ausdruck kommen würde.

4.1. Reiseübelkeit

Drei Probanden brachen das Navigationsexperiment nach wenigen Minuten aufgrund von Schwindel und Übelkeit ab. Die Ursache für diese körperliche Reaktion bezeichnet man als Reiseübelkeit. Beim Aufenthalt in virtuellen Umgebungen und besonders bei Verwendung einer 3-D-Datenbrille erreichen widersprüchliche visuelle und vestibuläre Signale den Hirnstamm und es kam zu Konflikten zwischen durchgeführter und wahrgenommener Bewegung (Oman & Cullen, 2014). Da nur drei der insgesamt 25 Probanden abbrechen mussten, es bei den restlichen 22 zu keinerlei Auftauchen von Symptomen kam und die Fragebögen ausschließlich sehr positives Feedback beinhalteten, ist die Wahl der Oculus Brille eine für Probanden attraktive Methode der Versuchsdurchführung.

4.2. Einfluss von Schlaf und die Interpretation der Navigationsleistungen

Ein signifikanter Einfluss von Schlaf und der damit assoziierten verbesserten Gedächtniskonsolidierung auf die Navigationsleistung konnte in diesem Experiment nicht nachgewiesen werden. Doch deuten die Differenzen der Mittelwerte beider Sitzungen durchaus auf einen Einfluss von Schlaf hin. Während die Probanden ohne Schlaf ihre Fehlerrate im Schnitt um 4,39% senkten, betrug die Mittelwerts-Differenz für die Probanden mit Schlaf 6,99% (vgl. Abbildung 8). Jedoch lässt sich diese

Tendenz nicht eindeutig dem Schlaf zu ordnen. Es besteht auch die Möglichkeit, dass unabhängig vom Schlaf abends besser gelernt wurde als morgens.

So stellt sich die Frage: Warum konnten keine positiven Effekte des Schlafes gefunden werden? Vergleicht man die Abbildungen 14 und 15, die jeweils für eine Gruppe das *Percentage above Optimum* für die einzelnen Routen angeben, erkennt man den ähnlichen Verlauf. Dies und die deutlichen Schwankungen der Werte zwischen den Routen deuten darauf hin, dass die einzelnen Routen sich in ihrer Schwierigkeit bzw. der Möglichkeit, Fehler zu machen, stark unterscheiden. Betrachtet man die Verläufe der Routen auf der Abbildung 7, so zeigt sich z.B., dass es bei den ersten beiden Routen sehr unwahrscheinlich ist, viele Fehler zu machen. Läuft man bei diesen beiden Routen immer zu einem Platz, an dem man noch nicht war, lässt sich maximal ein Fehler pro Route machen. Als äußerst interessante Route zeigt sich die 7. Route von Platz 4 nach Platz 5. Diese Route beinhaltet die Schwierigkeit, dass ihr Zielplatz außerhalb der Ringstruktur liegt und damit nicht - wie einige andere Routen - durch das Laufen im Kreis gefunden werden kann. Auffällig ist jedoch, dass in beiden Gruppen das *Percentage above Optimum* für diese Route in der zweiten Sitzung größer ist. Zu erklären ist dies dadurch, dass während der ersten Sitzung so gut wie alle Ziele direkt mit der Ringstruktur assoziiert waren, wodurch in der zweiten Sitzung dort verstärkt gesucht wird. Der generelle Effekt, dass unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit die Navigationsleistungen in der zweiten Sitzung besser sind, ließe sich damit auch erklären oder mit einem allgemeinen Lerneffekt. Es ist also denkbar, dass es ausreicht, ohne genaues Wissen über die Lokalisation der verschiedenen Plätze seine Leistung zu verbessern. Die, wenn auch nur grob entwickelte Vorstellung von der Struktur, z.B. dem Wissen um die Ringstruktur, Kreismuster, und die Erfahrung aus der ersten Sitzung könnten bereits genügen, um die Leistung in der zweiten Sitzung zu verbessern. Das Erkennen der Kreisstruktur, die sich aus der Verknüpfung der Plätze ergibt, ohne genaues Wissen über die exakte Lokalisation und sogar Anzahl der Plätze, könnte Hinweise auf den Aufbau des Graphenwissens geben. So ist es denkbar, dass zunächst übergeordnete Strukturen sich einprägen, bevor die einzelnen Verbindungen der Plätze, aus denen sie besteht, memoriert werden. Die Möglichkeit bei diesem Versuch, durch den geringen Erwerb von räumlichen Wissen die Fehlerrate zu verbessern, erschwert den eindeutigen Nachweis einer auf Schlaf beruhenden Gedächtniskonsolidierung. Es ist auch nicht

auszuschließen, dass Probanden morgens besser lernen als abends, was den Nachweis einer Verbesserung durch Schlaf ebenfalls erschwert.

Die Ergebnisse zeigen große interindividuelle Unterschiede in der Navigation und Routenplanung. Dies unterstützt die in der Literatur weit verbreitete Meinung, dass es bei der Navigation große interindividuelle Unterschiede gibt (Wolbers & Hegarty, 2010).

Ein Gender Effekt lässt sich in dieser Studie nicht signifikant nachweisen. Jedoch deuten die Ergebnisse bezüglich der benötigten Zeit (Abbildung 11) einen Gender Effekt an. Die weiblichen Probanden benötigten im Schnitt mehr Zeit - selbst bei geringerer Fehlerrate (vgl. Abbildung 10). Dies ist jedoch hauptsächlich auf die Handhabung der Steuerung zurückzuführen. Die männlichen Probanden kamen mit der Steuerung besser zurecht und manövierten schneller um die Ecken, während die weiblichen Probanden vor der Durchführung einer Rotation häufig vollständig abbremsten. Die weiblichen Probanden verbesserten sich jedoch im Vergleich zu den männlichen im Schnitt um 33 Sekunden, was dafürspricht, dass der Geschlechterunterschied bei der Zeit an der fehlenden Vertrautheit im Umgang mit Controller liegt.

4.3. Kartenskizzen und die Korrelation zwischen Sketch Map Score und Navigationsleistung

Ein signifikanter, negativer Zusammenhang zu den Sketch Map Scores besteht sowohl für die Fehlerrate als auch für die benötigte Zeit in der zweiten Sitzung. Das bedeutet, dass Probanden mit niedrigen Fehlerraten bzw. die, die weniger Zeit benötigten, bessere Kartenskizzen erstellten. Die Korrelation zwischen Fehlerraten und Kartenskizzen-Qualität ($r(20)=-0,575$) ist größer als der Zusammenhang zwischen benötigter Zeit und Kartenskizzen-Qualität ($r(20)=-0,466$). Dies, sowie der bereits erörterte Sachverhalt, dass weibliche Probanden auch bei geringerer Fehlerrate mehr Zeit benötigten, spricht dafür, eher die Fehlerrate als latente Variable für die Messung der Navigationsleistung zu nutzen.

Wie bei den Fehlerraten zeigen sich auch bei den Sketch Map Scores große Unterschiede zwischen den Probanden. So kommt es vor, dass die eigentlich

hexagonale Ringstruktur in den Zeichnungen sowohl mit mehr als auch mit weniger Plätzen gezeichnet wurde. Manche Probanden skizzierten sogar mehrere geschlossene Ringe. Während die Ringstruktur besonders gut erkannt wurde, ist die Abzweigung vom Ring, die aus den Plätzen 1,3 und 5 besteht, schlecht erkannt worden. Über die Kartenskizzen lassen sich Rückschlüsse auf die erworbenen räumlichen Informationen treffen. Die beiden Skizzen mit dem höchsten Sketch Map Score (Abbildung 16 und 17) ähneln dem Layout der präsentierten Umgebung sehr. Lediglich ein Platz im Ring fehlt bei beiden Zeichnungen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass für das Erstellen der Karte die korrekte Anordnung und Verknüpfung der Plätze sowie die Möglichkeit zur Gruppierung relevanter ist als die exakte Wiedergabe der metrischen Distanz. Für diese unterschiedliche Wahrnehmung von räumlichen Strukturen sprechen auch die oft berichteten Auswirkungen von Grenzen auf die Wahrnehmung (z.B. Hirtle & Jonides, 1985; Wiener & Mallot, 2003). Mehrere Skizzen, z.B. die Abbildungen 29,32 und 33, ähneln in ihrem Aufbau eher einem Netzwerk von Plätzen als einer Karte mit metrischen Elementen. Diese Einschätzung bekräftigen die Hypothese von Chrastil (2013), dass zwischen Routen- und Überblickswissen das Graphen-Wissen anzusiedeln ist.

Die Kartenzeichnungen mit geringen Sketch Map Scores, wie z.B. in Abbildung 23, 25, 33 und 36 erkennbar, deuten an, dass das Layout der Umgebung nicht erkannt und nicht gelernt wurde. Dies in Zusammenhang mit der signifikanten Verbesserung in der zweiten Sitzung bekräftigt die bereits oben erwähnte Überlegung, dass durch das benutzte Kartenlayout eine Verbesserung ohne Wissen über die genaue Lokalisation der Plätze möglich war.

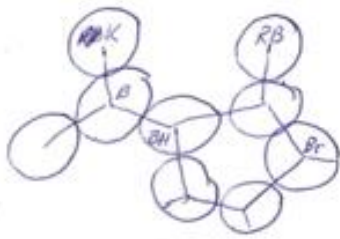
Der abschließende Fragebogen ergab, dass die Mehrheit der Probanden die Navigationsaufgabe in ihrer Schwierigkeit als neutral einstufte. Kein Proband stufte sie als sehr schwer bzw. sehr leicht ein. Die restlichen Einstufungen waren gleichmäßig verteilt. Die Resonanz bezüglich Spaß und Motivation waren ausnahmslos positiv bis sehr positiv. Auf die Frage nach einer Strategie antworteten die Probanden am häufigsten mit: „Orientierung anhand markanter Plätze“, „intuitiv“ und „Im Kreis laufen“.

4.4. Ausblick

Nur ansatzweise konnte in dieser Arbeit der positive Einfluss des Schlafes auf die Konsolidierung räumlichen Wissens belegt werden. Gründe hierfür liegen möglicherweise in der gewählten Stichprobengröße und im Design des Kartenlayouts.

Neben einer Vergrößerung der Probandenzahl wäre auch eine Umstrukturierung der virtuellen Umgebung denkbar. So könnte ein Layout entworfen werden, das ausgeglichene Routenverläufe skizziert. Zu erreichen wäre dies mit einer Karte, die mehr Plätze mit drei Entscheidungsmöglichkeiten beinhaltet. Auch wenn sich dadurch die Anzahl der Plätze im Design erhöht und sich das Erlernen der Karte für die Probanden schwieriger gestaltet, lässt sich dies durch einfachere Landmarken, weniger Distraktoren oder einer Trainingsphase kompensieren. Mehr Plätze mit drei Entscheidungsmöglichkeiten würde die Zahl der möglichen Fehlerquellen erhöhen und könnte somit den Lerneffekt genauer aufzeigen.

5. Anhang



K=Kirche
 B=Basketballcourt
 BH=Bushaltestelle
 RB=Roter Bus
 Br.=Brannen



Abbildung 16: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 4,3 Abbildung 17: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 4,8

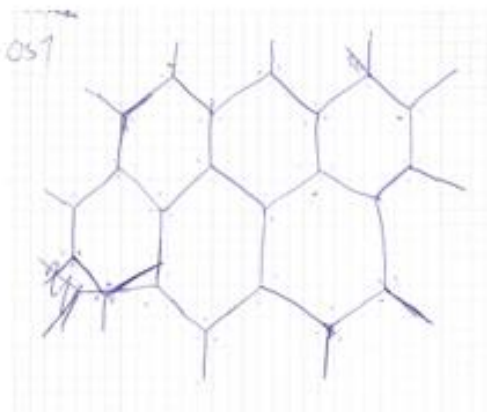


Abbildung 18: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 1,5 Abbildung 19: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 2,63

kizze der Umgebung an:

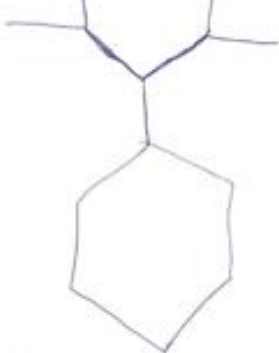


Abbildung 20: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 3,23

Abbildung 21: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 3,13

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung räumlichen Wissens



Abbildung 22: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 1,9

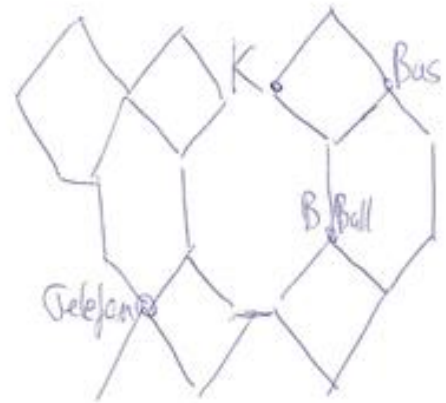


Abbildung 23: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 1,1

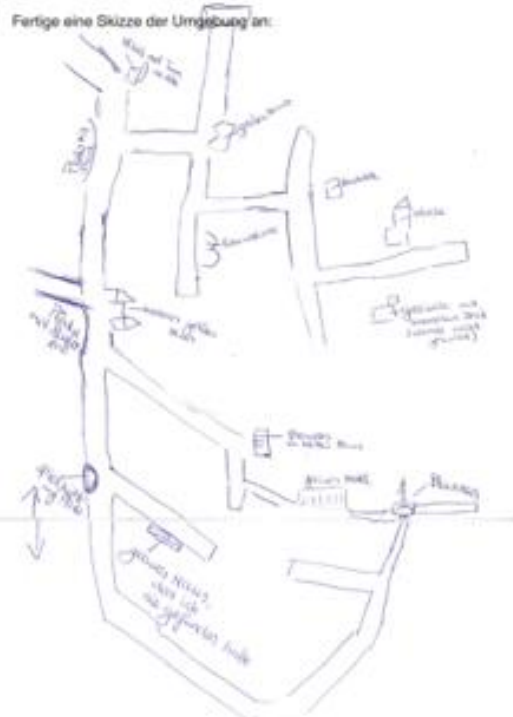


Abbildung 24: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 1,8



Abbildung 25: Wach-Gruppe; Sketch Map Score: 0,9



Abbildung 26: Wach-Gruppe;
Sketch Map Score: 2,4

Der Einfluss von Schlaf auf die Konsolidierung räumlichen Wissens

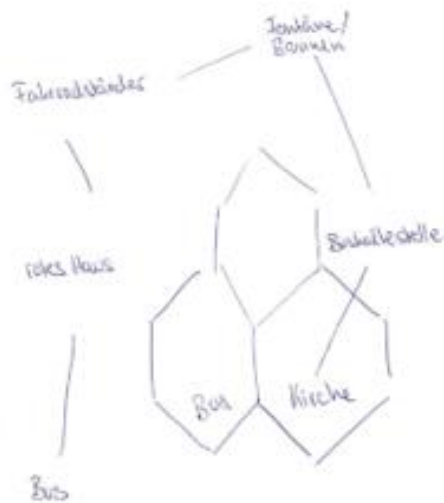


Abbildung 33: Schlaf-Gruppe; Sketch Map Score: 0,9



Abbildung 34: Schlaf-Gruppe; Sketch Map Score: 2,13



Abbildung 35: Schlaf-Gruppe; Sketch Map Score: 3,63

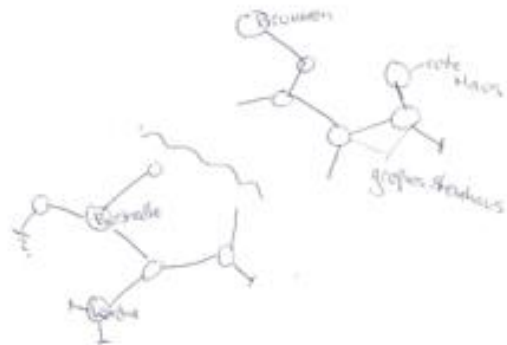


Abbildung 36: Schlaf-Gruppe; Sketch Map Score: 1



Abbildung 37: Schlaf-Gruppe; Sketch Map Score: 3,63

6. Literaturverzeichnis

- Billingshurst, M., & Weghorst, S. (1995). *The use of sketch maps to measure cognitive maps of virtual environments*. Paper presented at the Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'95).
- Chrastil, E. R. (2013). Neural evidence supports a novel framework for spatial navigation. *Psychon Bull Rev*, *20*(2), 208-227. doi:10.3758/s13423-012-0351-6
- Chrastil, E. R., & Warren, W. H. (2014). From cognitive maps to cognitive graphs. *PLoS One*, *9*(11), e112544. doi:10.1371/journal.pone.0112544
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nat Rev Neurosci*, *11*(2), 114-126. doi:10.1038/nrn2762
- Franz, M. O., & Mallot, H. A. (2000). Biomimetic robot navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, *30*(1-2), 133-153.
- Gillner, S., & Mallot, H. A. (1998). Navigation and acquisition of spatial knowledge in a virtual maze. *J Cogn Neurosci*, *10*(4), 445-463.
- Gillner, S., Weiss, A. M., & Mallot, H. A. (2008). Visual homing in the absence of feature-based landmark information. *Cognition*, *109*(1), 105-122. doi:10.1016/j.cognition.2008.07.018
- Hirtle, S. C., & Jonides, J. (1985). Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Mem Cognit*, *13*(3), 208-217.
- Inostroza, M., & Born, J. (2013). Sleep for preserving and transforming episodic memory. *Annu Rev Neurosci*, *36*, 79-102. doi:10.1146/annurev-neuro-062012-170429
- Karnath, H.-O. (2012). *Kognitive Neurowissenschaften* (3., aktualisierte und erw. Aufl. ed.). Berlin ; Heidelberg: Springer.
- Monacelli, A. M., Cushman, L. A., Kavcic, V., & Duffy, C. J. (2003). Spatial disorientation in Alzheimer's disease: the remembrance of things passed. *Neurology*, *61*(11), 1491-1497.
- Moser, E. I., Kropff, E., & Moser, M. B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system. *Annu Rev Neurosci*, *31*, 69-89. doi:10.1146/annurev.neuro.31.061307.090723
- O'Keefe, J. (1976). Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Exp Neurol*, *51*(1), 78-109.
- O'Keefe, J. M., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford: Clarendon Pr.
- Oman, C. M., & Cullen, K. E. (2014). Brainstem processing of vestibular sensory exafference: implications for motion sickness etiology. *Exp Brain Res*, *232*(8), 2483-2492. doi:10.1007/s00221-014-3973-2
- Pomplun, M., Silva, E. J., Ronda, J. M., Cain, S. W., Munch, 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. *J Vis*, *12*(7). doi:10.1167/12.7.14
- Squire, L. R. (2009). The legacy of patient H.M. for neuroscience. *Neuron*, *61*(1), 6-9. doi:10.1016/j.neuron.2008.12.023
- Wamsley, E. J., Tucker, M. A., Payne, J. D., & Stickgold, R. (2010). A brief nap is beneficial for human route-learning: The role of navigation experience and EEG spectral power. *Learn Mem*, *17*(7), 332-336. doi:10.1101/lm.1828310
- Wiener, J. M., & Mallot, H. A. (2003). 'Fine-to-Coarse' Route Planning and Navigation in Regionalized Environments. *Spatial Cognition & Computation*, *3*(4), 331-358. doi:10.1207/s15427633scc0304_5
- Wilson, M. A., & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, *265*(5172), 676-679.
- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends Cogn Sci*, *14*(3), 138-146. doi:10.1016/j.tics.2010.01.001