

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie
der Universität Tübingen

**Einflüsse von Schlaf auf das episodische Gedächtnis
- Replikation einer Vorstudie und Einführung
intrapersoneller Abrufintervalle vor und nach
Nachtschlaf**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Dages, Yvonne

2020

Dekan: Professor Dr. B. J. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. J. Born
2. Berichterstatter: Professor Dr. C. Laske

Tag der Disputation: 19.06.2020

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Gedächtnis	2
1.1.1	Langzeitgedächtnis	4
1.2	Schlaf	6
1.3	Schlaf und Gedächtnis	8
1.3.1	Schlaf und episodisches Gedächtnis	13
1.4	Ziele der vorliegenden Arbeit und Hypothesen	16
2	Material und Methoden.....	19
2.1	Probandenkollektiv	19
2.2	Design und Ablauf der Studie.....	20
2.3	Enkodierungsphasen.....	24
2.4	Abruf.....	25
2.4.1	Impliziter Abruf des episodischen Gedächtnisses.....	25
2.4.2	Expliziter Abruf des episodischen Gedächtnisses	30
2.5	Korrelation der impliziten und expliziten Ergebnisse	32
2.6	Polysomnografie	32
2.7	Kontrollmessungen.....	33
2.7.1	Paired-word-associate memory task (PAL)	33
2.7.2	Positive Affect Negative Affect Scale (PANAS)	34
2.7.3	Stanford Sleepiness Scale (SSS)	35
2.7.4	Psychomotor Vigilance Task 10 (PVT10)	35
2.7.5	Eingangsfragebogen.....	35
2.7.6	Fragebogen Nachtschlafqualität	36
2.7.7	Nachbefragungsbogen	36
2.7.8	Kontrollmessungen der Habitationsnacht	36
2.8	Statistische Auswertung	38
3	Ergebnisse	40
3.1	Auswertung der Polysomnografie	40
3.2	Auswertung der impliziten Abrufe.....	42
3.2.1	Implizite Abrufe der Post-Gruppe.....	42
3.2.2	Implizite Abrufe der Pre-Post-Gruppe.....	44

3.2.3	Vergleich der impliziten Abrufe zwischen den Gruppen.....	48
3.3	Auswertung der expliziten Abrufe.....	49
3.3.1	Explizite Abrufe der Post-Gruppe und der Pre-Post-Gruppe	49
3.4	Korrelation der impliziten und expliziten Ergebnisse	52
3.5	Ergebnisse der Kontrollmessungen.....	53
3.5.1	Auswertung der Paired-word-associate memory task.....	53
3.5.2	Auswertung der Positive Affect Negative Affect Scale	58
3.5.3	Auswertung der Stanford Sleepiness Scale.....	60
3.5.4	Auswertung des Psychomotor Vigilance Task 10	61
3.5.5	Ergebnisse Fragebogen Nachtschlafqualität	62
3.5.6	Ergebnisse Nachbefragung	64
3.5.7	Auswertung der Kontrollmessungen der Habituationsnacht	64
4	Diskussion.....	66
5	Zusammenfassung.....	77
6	Literaturverzeichnis	79
7	Erklärung zum Eigenanteil	88
8	Danksagung	89
9	Anhang.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteile der Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer der Experimentalnacht.....	40
Tabelle 2: Anteile der Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer der Referenznacht	41
Tabelle 3: PAL, Vergleich zwischen den Gruppen	55
Tabelle 4: PAL, Vergleich der korrekten Wortpaare mit dem Zufallslevel.....	56
Tabelle 5: PAL, Vergleich der korrekten Wortpaare und richtiger Listenzuordnungen mit dem Zufallslevel	56
Tabelle 6: PAL, Vergleiche der beiden Listen innerhalb der Gruppen.....	56
Tabelle 7: PANAS, Vergleich zwischen den Gruppen	58
Tabelle 8: PANAS, Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten je Gruppe	59
Tabelle 9: Stanford Sleepiness Scale, Vergleich zwischen den Gruppen	60
Tabelle 10: Stanford Sleepiness Scale, Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten je Gruppe.....	60
Tabelle 11: PVT 10, Vergleich zwischen den Gruppen	61
Tabelle 12: PVT 10, Vergleich zwischen den Testzeitpunkten je Gruppe	61
Tabelle 13: Nachtschlafqualität, Müdigkeit vor dem Schlaf	62
Tabelle 14: Nachtschlafqualität, Gefühl des Ausgeschlafenseins am Morgen .	64
Tabelle 15: Ergebnisse der Kontrollmessungen der Habitationsnacht	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ideales Hypnogramm	7
Abbildung 2: Reales Hypnogramm.....	8
Abbildung 3: Schema zum Versuchsablauf in den einzelnen Gruppen	22
Abbildung 4: Schema zur Anordnung der Gesichter	27
Abbildung 5: Visuelle Erkundungszeiten der Post-Gruppe.....	42
Abbildung 6: Implizite Scores der Gruppe Post.....	43
Abbildung 7: Visuelle Erkundungszeiten der Gruppe Pre-Post	44
Abbildung 8: Implizite Scores der Gruppe Pre-Post	45
Abbildung 9: Visuelle Erkundungszeiten in der Subgruppe (n = 5)	47
Abbildung 10: Visuelle Erkundungszeiten in der Subgruppe (n = 9)	47
Abbildung 11: Implizite Scores für die Subgruppen der Gruppe Pre-Post.....	48
Abbildung 12: Explizite Abrufe in der Gruppe Post.....	51
Abbildung 13: Explizite Abrufe in der Gruppe Pre-Post.....	51
Abbildung 14: Vergleich der expliziten Abrufe nach dem Schlaf	52
Abbildung 15: PAL, Individuelle Ergebnisse der Probanden, Anzahl der korrekt genannten Wortpaare in sofortiger und späterer Abfrage, Liste 1	57
Abbildung 16: PAL, Individuelle Ergebnisse der Probanden, Anzahl der korrekt genannten Wortpaare in sofortiger und späterer Abfrage, Liste 2	57

Abkürzungsverzeichnis

AMPA	Alpha-Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolpropionsäure
D	verschoben (displaced)
EEG	Elektroencephalographie
EMG	Elektromyografie
engl	englisch
EOG	Elektrookulografie
fMRI	funktionelle Magnetresonanztomografie (engl. functional magnetic resonance imaging)
h	Stunde
LTP	Langzeitpotenzierung (long term potentiation)
NMDA	N-Methyl-D-Aspartat
O	alt (old)
PAL	assoziierte Wortpaare-Gedächtnisaufgabe (paired-word-associate memory task)
PANAS	Positiver Affekt negativer Affekt Skala
PVT	Psychomotor Vigilance Task
R	kürzlich (recent)
REM-Schlaf	Schlaf mit schnellen Augenbewegungen (rapid eye movement sleep)
S	stationär (stationary)
S1-S4	Schlafstadium 1-4
SEM	Standardfehler des Mittelwerts (standard error of mean)
SSS	Stanford Schläfrigkeitsskala (Stanford Sleepiness Scale)
SWS	Tiefschlaf (slow-wave-sleep)
WWW	„Was-Wo-Wann“

1 Einleitung

Bestimmte Erlebnisse in unserem Leben sind in unserer Erinnerung im zeitlichen Zusammenhang ihres Auftretens und dem räumlichen Kontext gespeichert. Wir erinnern uns zum Beispiel an eine lange vergangene Feier mit ihren Details, welche Musik gespielt wurde, welche Freunde anwesend waren, welcher Anlass bestand und eben auch wo genau sie stattfand und wann. Bereits 1972 definierte Tulving das episodische Gedächtnis als ein System, das Informationen über ein Erlebnis und dessen zeitlich-räumlichen Kontext speichert. Außerdem bezog er in die Definition die Notwendigkeit eines Selbstbewusstseins mit ein, um eine mentale Zeitreise in die Vergangenheit unternehmen zu können und die stattgehabte Episode erneut durchleben zu können (Tulving, 2002).

In gewisser Weise macht episodisches Gedächtnis uns Menschen aus, wir erinnern uns an bestimmte Erlebnisse aus unserer Vergangenheit, tauschen uns darüber aus, denken darüber nach und lernen möglicherweise etwas daraus. Auch im Tierreich konnte episodens-artiges (episoden-artig, da bisher nicht untersucht werden kann, ob Tiere ein Selbstbewusstsein haben) Gedächtnis nachgewiesen werden (Nicola S Clayton, Griffiths, Emery, & Dickinson, 2001; N. S. Clayton & Russell, 2009). Das episodische Gedächtnis ist nach der Einteilung von Squire (Squire & Zola, 1996) dem deklarativen Gedächtnis zugeordnet. Für dieses ist seit längerem bekannt, dass Schlaf eine wichtige Rolle für die Speicherung der Gedächtnisinhalte spielt (Payne et al., 2012; Rasch & Born, 2013).

Welche Effekte Schlaf im speziellen auf die Aspekte des episodischen Gedächtnisses hat, wird seit einigen Jahren genauer erforscht und ist auch Thema dieser Arbeit.

1 Einleitung

1.1 Gedächtnis

Das Gehirn ist aufgebaut aus vielen Nervenzellen, den Neuronen und ihren Verbindungen untereinander, den Synapsen. Eine der spannendsten Funktionen dieses Organs ist die Fähigkeit zur Speicherung von Erinnerungen und damit die Ausbildung eines Gedächtnisses.

Seit langem werden unterschiedliche Gedächtnissysteme beschrieben und weiterentwickelt. Ein zweistufiges Modell mit einem schnell lernenden System, dem Kurzzeitgedächtnis und einem langsam lernenden System, dem Langzeitgedächtnis (Marr, Willshaw, & McNaughton, 1991) bot eine Lösung für das zuvor bestehende „Stabilitäts-Plastizitäts-Dilemma“ (Abraham & Robins, 2005). Dieses greift die Frage auf, wie es sein kann, dass einerseits ständig neue Informationen gelernt werden können, also in ein bestehendes neuronales Netzwerk integriert werden, ohne dass andererseits die zuvor gelernten Inhalte gelöscht oder überschrieben werden. Marr et al. (Marr et al., 1991) schlugen nun die Theorie vor, dass bestimmte Informationen zunächst schnell aufgenommen und gespeichert werden und dann nach und nach in einen Langzeitspeicher, der wesentlich langsamer arbeitet, überführt werden. Diese gespeicherte Information wird als Repräsentation bezeichnet. Die hiermit verbundenen Teilprozesse sind die Enkodierung und Konsolidierung (G. E. Müller & Pilzecker, 1900).

Der Begriff der Enkodierung beinhaltet die Aufnahme einer neuen Information, die behalten werden soll. Nicht alle durch unsere Sinnesorgane aufgenommenen Informationen werden gespeichert, sondern vor allem jene, denen Aufmerksamkeit geschenkt wurde (Atkinson & Shiffrin, 1971). Ebenso hängt die Enkodierung von der Verarbeitungstiefe der Information, der Bekanntheit und Häufigkeit der wiederholten Präsentation ab (Craig & Lockhart, 1972). Hebb (Hebb, 1949) vermutete, dass die Repräsentation dieser Information sich im Gehirn auf neuronaler Ebene als kreisende Erregung in einem bestimmten Zellverband darstellt und solange noch instabil ist. Werden Nervenzellen mehrfach gleichzeitig aktiviert, wird ihre Verbindung gestärkt. Die Festigung dieser Erinnerung, als Konsolidierung bezeichnet, erfolgt einerseits auf Synapsenebene (synaptische Konsolidierung) (Dudai, 2004) durch

1 Einleitung

Veränderung der Synapsenstärken (Shimizu, Tang, Rampon, & Tsien, 2000). Als Schlüsselmechanismus hierfür dient die Langzeitpotenzierung (LTP) (Bliss & Collingridge, 1993; Bliss & Lømo, 1973), die über eine Aktivierung verschiedener Rezeptoren an den Synapsen [N-Methyl-D-Aspartat (NMDA), Alpha-Amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolpropionsäure (AMPA)] reguliert wird. Dies konnte in verschiedenen Studien nach teilweiser Blockade der oben genannten Mechanismen und daraufhin ausbleibender neuronaler Plastizität gezeigt werden (Frank, Jha, & Coleman, 2006; Gais, Rasch, Wagner, & Born, 2008). Auch die Synapsenzahl kann sich ändern (Shors et al., 2001). Andererseits erfolgt die Konsolidierung auch durch Umverteilung der Repräsentation in andere Hirnareale („system consolidation“¹) (Born & Wilhelm, 2012; Dudai, 2004). Beispielsweise erfolgt der Abruf deklarativer Inhalte zunächst über den Hippocampus und wird im Laufe der Zeit davon unabhängig (Squire & Zola-Morgan, 1991). Diese Umverteilung dauert möglicherweise über Jahre an (Frankland & Bontempi, 2005). Eine Reaktivierung der Gedächtnisspur im Schlaf beschleunigt die Konsolidierung (Diekelmann & Born, 2010).

Bereits Ebbinghaus hatte beobachtet, dass der erfolgreiche Abruf einer Erinnerung von der Zeitspanne zwischen Enkodierung und Abruf abhängt (Ebbinghaus, 1885). Nach einer erfolgreichen Konsolidierung kann der gespeicherte Gedächtnisinhalt spontan oder durch bestimmte Schlüsselreize von extern oder intern wieder abgerufen werden (Bartlett, Bartlett, & Kintsch, 1995). Mehrere Studien zeigten, dass für einen erfolgreichen Abruf die Bedingungen ähnlich denen während der Enkodierung sein sollten (Kent & Lamberts, 2008; Tulving & Thomson, 1973).

Rekonsolidierung wiederum beschreibt einen der Konsolidierung ähnlichen Verarbeitungsprozess einer Erinnerung, der unter bestimmten Voraussetzungen auch Jahre nach der Konsolidierung ablaufen kann. Hierbei wird die Erinnerung noch einmal instabil und kann verändert, oder sogar vergessen werden (Dudai, 2012; Misanin, Miller, & Lewis, 1968; Sara, 2000).

¹ engl.: Systemkonsolidierung

1 Einleitung

1.1.1 Langzeitgedächtnis

Das Langzeitgedächtnis wurde wiederum 1987 durch Squire (Squire & Zola, 1996) weiter unterteilt in deklaratives und non-deklaratives Gedächtnis. Das Erstere speichert eher bewusst erfahrene Erinnerungen („wissen, dass....“) mit einer weiteren Unterteilung in das semantische (Fakten, Regeln, Formeln, Theorien, ohne dabei genau zu wissen, wann das Entsprechende gelernt wurde und wo) und das episodische Gedächtnis (Erinnerungen an Ereignisse in ihrem zeitlichen und räumlichen Kontext). Im non-deklarativen Gedächtnis sind nach dieser Einteilung eher unbewusst aufgenommene Inhalte gespeichert, zum Beispiel Bewegungsabläufe wie Fahrrad fahren („wissen, wie....“). Hierzu zählen neben dem prozeduralen Gedächtnis auch durch Priming oder durch klassische Konditionierung Erlerntes und das nicht-assoziative Lernen, wie Sensibilisierung und Habituation. Die im non-deklarativen Gedächtnis gespeicherten Dinge können in der Regel nicht bewusst abgerufen werden, sondern werden unbewusst abgerufen in einer der Lernsituation ähnlichen Tätigkeit. Für das deklarative Gedächtnis scheint der Hippocampus, der hauptsächlich im Temporallappen liegt, eine zentrale Rolle zu spielen, wie im nächsten Abschnitt beschrieben, während dem non-deklarativen Gedächtnis eher kein spezielles Hirnareal zugeordnet werden kann.

1.1.1.1 *Episodisches Gedächtnis*

Wie bereits oben erwähnt definierte Tulving 1972 das episodische Gedächtnis als ein System, das Informationen über ein Erlebnis und dessen zeitlich-räumlichen Kontext speichert. Ein bestimmtes Ereignis tritt genau so nur ein einziges Mal auf und wird dennoch gespeichert, ohne bewusste Wiederholung. Um es im Vergleich zu anderen episodischen Erinnerungen zeitlich einordnen zu können scheint ein gewisses autobiografisches Bewusstsein notwendig zu sein (Tulving, 1972). Gerade für die Speicherung der zeitlichen und räumlichen Komponenten scheint der Hippokampus wichtig zu sein (Burgess, Maguire, & O'Keefe, 2002; DeVito & Eichenbaum, 2011; Fortin, Agster, & Eichenbaum, 2002; Lehn et al., 2009).

Durch den Patienten H.M., dem aufgrund einer therapierefraktären Epilepsie beide Temporallappen entfernt wurden und der sich danach keine neuen

1 Einleitung

Informationen mehr langfristig merken konnte, während lange zurückliegende Ereignisse und sehr kurzfristig abgefragte Informationen unbeeinträchtigt erinnert werden konnten (Scoville & Milner, 1957) und weiteren Untersuchungen (Cabeza, Ciaramelli, Olson, & Moscovitch, 2008) wird davon ausgegangen, dass vor allem der Hippocampus für die Speicherung der deklarativen Gedächtnisinhalte und damit auch des episodischen Gedächtnisses verantwortlich ist. Für Inhalte, die langfristig gespeichert werden sollen, erfolgt nach und nach die Umverteilung in neocorticale und striatale Strukturen durch „system consolidation“ (Buzsáki, 1996; Diekelmann & Born, 2010).

Einige der Erinnerungen werden möglicherweise über die Zeit unabhängig vom Hippocampus, sie können dann auch ohne messbare Aktivierung des Hippocampus abgerufen werden (Frankland & Bontempi, 2005; McClelland, McNaughton, & O'Reilly, 1995), während andere abhängig bleiben (Nadel & Moscovitch, 1997). Einige Autoren diskutierten die Vermutung, dass der Hippocampus als eine Art Index für die extrahippocampal gespeicherten Inhalte dient, welche eher das semantische Wissen der Episode speichern, während die Kontextinformationen im Hippocampus verbleiben (Nadel & Moscovitch, 1997; Winocur, Moscovitch, & Bontempi, 2010). Auf diese Weise entstünde aus einer episodischen Erinnerung semantisches Wissen durch Wiederholung der episodischen Inhalte oder auch überlappende episodische Erinnerungen, die Erinnerung würde sich also qualitativ verändern (Inostroza & Born, 2013a; Payne et al., 2009). Welche der Erinnerungen im Hippocampus gespeichert bleiben, wird vermutlich durch den präfrontalen Cortex gesteuert, der als Assoziationscortex für die Verhaltenssteuerung und Aufmerksamkeit zuständig ist (Battaglia, Benchenane, Sirota, Pennartz, & Wiener, 2011).

Insbesondere die Speicherung der Kontextinformation einer Erinnerung, also wann und wo sie stattgefunden hat, aber nicht unbedingt was genau passiert ist, scheint durch Schlaf unterstützt zu werden (Drosopoulos, Windau, Wagner, & Born, 2007; Van Der Helm, Gujar, Nishida, & Walker, 2011).

1 Einleitung

1.2 Schlaf

Im Vergleich zum Wachzustand, in dem wir über unsere Sinnesorgane Informationen unserer Umwelt aufnehmen und einige davon bewusst verarbeiten, ist Schlaf ein Zustand der zwar rasch reversiblen Bewusstlosigkeit, in dem jedoch nur außergewöhnliche Sinneseindrücke zu einer vorzeitigen Weckreaktion führen. Über den Sinn des Schlafs gibt es viele Untersuchungen, sicher ist, dass er lebensnotwendig ist. Ein chronischer Schlafentzug bei Tieren über mehrere Wochen führte schließlich zu ihrem Tod (Allan Rechtschaffen & Bergmann, 1995). Während des Ruhezustands des Körpers im Schlaf wird Energie eingespart (Berger & Phillips, 1995; Webb, 1988), Prozesse der Gewebereparatur (Oswald, 1980), des Immunsystems (Lange, Dimitrov, Bollinger, Diekelmann, & Born, 2011; Lange, Dimitrov, & Born, 2010) und Regulationsmechanismen im metabolischen System (Knutson, Spiegel, Penev, & Van Cauter, 2007; Van Cauter, Spiegel, Tasali, & Leproult, 2008) laufen verstärkt ab. Auch die Mechanismen der Temperaturregulation des Organismus sind schlafabhängig (Allan Rechtschaffen & Bergmann, 1995). Insbesondere scheinen jedoch das Gehirn und das Gedächtnis zu profitieren (Diekelmann & Born, 2010; Hobson, 2005; Rasch & Born, 2013; Tononi & Cirelli, 2006). Das Auftreten von Schlaf unterliegt einer zirkadianen Rhythmik, ein Schlafdefizit wird durch längeren Schlaf bei der nächsten Möglichkeit nachgeholt (Borb & Achermann, 1999). Nach Einführung der Elektroenzephalografie (EEG) zur Aufzeichnung von elektrischen Potenzialunterschieden an der Schädeloberfläche konnten aufgrund des Auftretens verschiedener charakteristischer Ableitungen mehrere Schlafstadien unterschieden werden, die während eines Schlafzyklus wiederholt und in einer bestimmten Reihenfolge auftreten (s. Abbildung 1 mit einem theoretischen, idealen Ablauf und Abbildung 2 mit einem realen Ablauf des Schlafs bei einem Probanden dieser Studie). Die erste Nachthälfte wird dabei dominiert von Non-rapid-eye-movement-Schlaf (Non-REM-Schlaf) und hiervon vor allem von Slow Wave Schlaf (SWS) und die zweite Hälfte von REM-Schlaf.

Non-REM-Schlaf beinhaltet die Schlafstadien 1-4, wovon die Stadien 3 und 4 dem Slow Wave Schlaf zugeordnet werden, bei dem entsprechend dem Namen

1 Einleitung

vor allem langsame Wellen mit hoher Amplitude im EEG auffallen. Die Stadien eins und zwei sind weniger tief und hauptsächlich im Stadium zwei gekennzeichnet durch Schlafspindeln mit mehrfach rasch an- und abschwellender Amplitude und K-Komplexen, die einen scharfen negativen Peak gefolgt von einem sofortigen positiven zeigen. Insgesamt sind die Amplituden hier deutlich niedriger als im SWS. Der REM-Schlaf sieht im EEG ähnlich dem Wachzustand aus, weshalb er auch als paradoxer Schlaf bezeichnet wird. Zu sehen sind schnelle Oszillationen und niedrige Amplituden. Im Unterschied zum Wachzustand besteht jedoch eine Muskelatonie und es fallen die charakteristischen schnellen Augenbewegungen auf. Zur Aufzeichnung des Schlafs durch die Polysomnografie gehören außer dem EEG auch die Elektrookulografie (EOG) bei der Elektroden rund um die Augen angebracht werden und die Elektromyografie (EMG) bei der die Elektroden zur Ableitung der Muskelaktivität meist im Bereich des M. mentalis am Kinn angebracht werden.

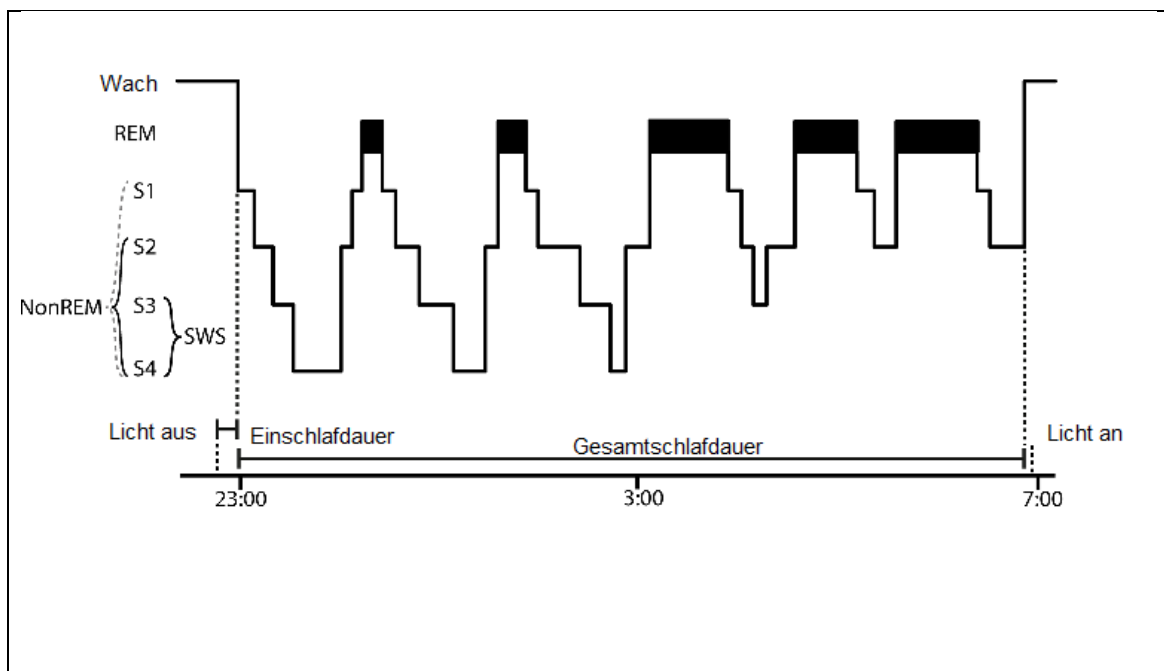


Abbildung 1: Ideales Hypnogramm

Schematische Darstellung des Ablaufs der Schlafstadien während einer Nacht, vom Wachzustand über die Schlafstadien S1-S4 (Non-Rem-Schlaf) im zyklischen Wechsel mit REM-Schlaf

Quelle: Weber, F.D. (2016).<http://www.spisop.org>; zuletzt aufgerufen am 21.09.2019; adaptiert und kopiert mit Erlaubnis des Autors

1 Einleitung

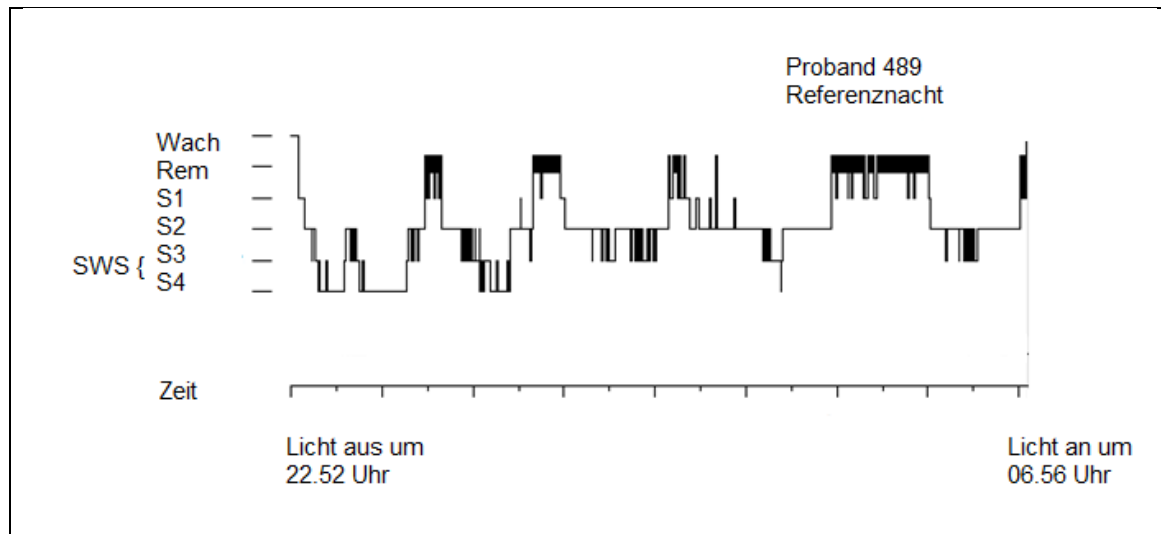


Abbildung 2: Reales Hypnogramm

Aufzeichnung des Scorings eines Probanden in der Referenznacht, zyklischer Ablauf der Schlafstadien mit Wachzustand, Erreichen des Tiefschlafs (SWS, Stadien 3 und 4) über die Schlafstadien 1-2, REM-Schlafphasen und Erwachen am nächsten Morgen

Quelle: entnommen aus SchlafAus (laborinterne Software), adaptierte Aufzeichnung eines studieneigenen Probanden

1.3 Schlaf und Gedächtnis

Im Schlaf arbeitet das Gehirn ganz anders als im Wachzustand. Dort finden bei vorhandenem Bewusstsein hauptsächlich Enkodierung und Abruf statt, im Schlaf hauptsächlich der Prozess der Konsolidierung (Diekelmann & Born, 2010; Lewis & Durrant, 2011; Payne & Kensinger, 2010). Vermutet wird, dass die Prozesse der Verarbeitung und Speicherung nicht zeitgleich stattfinden können, um Interferenz zu vermeiden (Born, Rasch, & Gais, 2006; McClelland et al., 1995).

Bereits 1924 stellten Jenkins und Dallenbach die Hypothese auf, dass Schlaf die Gedächtnisbildung unterstützt (Jenkins & Dallenbach, 1924), indem sie Probanden sinnlose Silben lernen ließen und feststellten, dass nach einer Nacht Schlaf mehr erinnert wurden, als nach einem Wachintervall derselben Länge. Zunächst bestand die Vermutung, dass Schlaf nur passiv das Gedächtnis unterstützt, da in der Zeit des Schlafs keine neuen Inhalte dazu

1 Einleitung

kommen, die die anderen überschreiben könnten (Ellenbogen, Hulbert, Stickgold, Dinges, & Thompson-Schill, 2006).

Eine zusätzlich aktive Rolle des Schlafs bei der Konsolidierung von Gedächtnis beschrieben später diverse Autoren (Born et al., 2006; Diekelmann & Born, 2010; Fischer, Drosopoulos, Tsen, & Born, 2006; Payne & Kensinger, 2010). Multiple Studien konnten nachweisen, dass nach dem Schlaf eine deutlich bessere Leistung für sowohl deklarative (Jenkins & Dallenbach, 1924; Lahl, Wispel, Willigens, & Pietrowsky, 2008) und prozedurale Gedächtnisinhalte, (Fischer, Hallschmid, Elsner, & Born, 2002; Walker et al., 2003) als auch für durch klassische Konditionierung (Pace-Schott et al., 2009) Erlerntes besteht. Die Bedingungen von Gedächtniskonsolidierung im Schlaf wurden untersucht und zusammengefasst von Diekelmann et al. (Diekelmann, Wilhelm, & Born, 2009). Verschiedenste Aspekte müssen betrachtet werden, wie die Art des Schlafs (Non-REM- oder REM-Schlaf), Schlaflänge und -timing und natürlich Menge und Art der gelernten Inhalte.

Besonders wichtig für die Konsolidierung von deklarativem Gedächtnis scheint die erste Nachthälfte zu sein, mit wie oben beschrieben, höherem Anteil an SWS (Yaroush, Sullivan, & Ekstrand, 1971). Diese Beobachtung wurde aufgegriffen von Plihal und Born (Plihal & Born, 1997): Probanden bekamen Aufgaben die entweder das deklarative (Wortpaarlisten) oder das prozedurale Gedächtnis („mirror tracing“²) forderten. Eine Gruppe durfte nach der Lernphase drei Stunden schlafen und wurde danach getestet. Die zweite Gruppe schlief zunächst drei Stunden, lernte dann die Aufgaben und schlief erneut für drei Stunden, bevor die Testung erfolgte. Hierdurch wurde unterschieden zwischen dem ersten Teil des Nachtschlafs und dem zweiten Teil. Auffällig war, dass die Probanden, die die erste Nachthälfte nach dem Lernen geschlafen hatten, deutlich besser in der Testung der deklarativen Aufgabe waren und jene Probanden, die nach der Lernphase die zweite Nachthälfte schliefen, deutlich besser in der prozeduralen Aufgabe abschnitten. Es zeigten sich also erneut Hinweise darauf, dass SWS für die Konsolidierung des deklarativen Gedächtnisses wichtig ist und in dieser Studie auch, dass

² engl.: Aufgabe, bei der die Probanden ein Bild nachzeichnen sollen, das sie nur im Spiegel sehen

1 Einleitung

REM-Schlaf (der die zweite Nachthälfte dominiert) die Konsolidierung von prozeduralem Gedächtnis unterstützt.

Bezüglich der optimalen Schlaflänge lässt sich trotz der Vielzahl der Studien (Korman et al., 2007; Lahl et al., 2008; Mednick, Nakayama, & Stickgold, 2003; Tucker et al., 2006) aktuell keine sichere Aussage treffen. Diekelmann et al. (Diekelmann et al., 2009) kommen nach Zusammenschau zu dem Schluss, dass möglicherweise ein bis zwei Stunden Schlaf ausreichend sind für die Konsolidierung und dass innerhalb dieser Zeit Schlaf eine dosisabhängige Wirkung zeigt.

Da sowohl Untersuchungen mit Nachtschlaf als auch mit kurzen Nickerchen oder Schlaf im Tagesverlauf einen Nutzen von Schlaf zeigen, scheint es eher unwichtig zu sein, wann genau der Schlaf (und die vorhergehende Lernphase) im Tagesverlauf stattfindet (Koulack, 1997; Mednick et al., 2003). Jedoch gibt es Anlass zu der Vermutung eines bestimmten optimalen Zeitkorridors ungefähr innerhalb eines Tages, in welchem der Schlaf nach einer Lernphase beginnen sollte (Gais, Lucas, & Born, 2006; Stickgold, James, & Hobson, 2000). Eine genauere Eingrenzung schlug bisher jedoch fehl.

Auch zu den Inhalten, die bevorzugt konsolidiert werden gibt es immer wieder neue Erkenntnisse. So werden emotionsbeladene Informationen besser behalten, als neutrale (Hu, Stylos-Allan, & Walker, 2006; LaBar & Cabeza, 2006). Außerdem scheinen Gedächtnisinhalte, die vor dem Schlaf weniger gut enkodiert waren, in höherem Maße von Schlaf zu profitieren (Drosopoulos, Schulze, Fischer, & Born, 2007). Allerdings gab es hierzu auch gegensätzliche Studienergebnisse (Tucker & Fishbein, 2008). Stickgold vermutet daher eine invertierte U-förmige Kurve für schlafabhängige Effekte, was die gegensätzlichen Ergebnisse insofern erklären könnte, dass vor allem mittelstark enkodierte Inhalte am meisten von Schlaf profitieren (Stickgold, 2009). Weiterhin hat Schlaf größere Auswirkungen auf die Konsolidierung von explizit Gelerntem, als auf implizit erworbene Kenntnisse (Robertson, Pascual-Leone, & Press, 2004). Interessanterweise schien Schlaf und hier vor allem SWS die Überführung einer implizit erworbenen Erinnerung in eine Explizite zu begünstigen. Probanden hatten unwissend während einer Aufgabe zur

1 Einleitung

Reaktionsgeschwindigkeit („serial reaction time task“) eine bestimmte Tastenkombination erlernt. Nach einer Erholungsphase mit Nachtschlaf waren mehr Probanden als in der Wachkontrollgruppe in der Lage, die Sequenz explizit wiederzugeben (Fischer et al., 2006; U. Wagner, Gais, Haider, Verleger, & Born, 2004). Insgesamt lässt sich vermuten, dass solche Erinnerungen, die für die Zukunft relevant sind, weil zum Beispiel eine Belohnung angekündigt wurde (Fischer & Born, 2009), eher konsolidiert werden. Das für Belohnung und Motivation zuständige Hirnareal, der präfrontale Cortex, ist an der bewussten (expliziten) Enkodierung beteiligt (Miller, 2000; Schendan, Searl, Melrose, & Stern, 2003; A. D. Wagner et al., 1998). Es entstand die Hypothese, dass genau die Aktivität in präfrontalem Cortex und Hippocampus und der Austausch von Informationen zwischen beiden Arealen einen neuen Gedächtnisinhalt der Konsolidierung zugänglich macht (Diekelmann & Born, 2010). Durch Ableitung von elektrischen Impulsen des Gehirns bei Ratten während der Lernphase und im darauf folgenden Schlaf konnte beobachtet werden, dass die während der Lernphase über dem Hippokampus abgeleiteten Impulse im späteren SWS dort in derselben Form wieder auftraten und im Verlauf auch im Bereich des Neocortex (Wilson & McNaughton, 1994). Dies unterstützt die Hypothese der „active system consolidation“³, dass eine neue, noch labile Erinnerung während des nachfolgenden Schlafs reaktiviert wird und dann aktiv in einen Langzeitspeicher im Neocortex übertragen wird (Born et al., 2006; McClelland et al., 1995). Die Erinnerung wird in andere, bereits bestehende integriert (Diekelmann & Born, 2007; Ji & Wilson, 2007). In weiteren Studien zur Reaktivierung einer solchen „Erinnerungsspur“ gelang dies mittels eines Duftstoffs, der sowohl während der Lernphase als auch später im SWS präsentiert wurde. Nach einer solchen Reaktivierung erinnerten sich die Probanden in den Abfragen ebenfalls besser als die Kontrollgruppe ohne die von außen getriggerte Reaktivierung (Rasch, Büchel, Gais, & Born, 2007). Eine weitere Untersuchung erfolgte mit ähnlichen Ergebnissen mittels Tönen als Schlüsselreize (Ngo, Martinetz, Born, & Mölle, 2013). Gais konnte außerdem zeigen, dass im Abruf nach dem Schlaf im Vergleich zum Abruf nach einer

³ engl.: aktive Systemkonsolidierung

1 Einleitung

Wachphase in der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRI) eine stärkere funktionelle Verbindung zwischen Hippocampus und präfrontalem Cortex nachweisbar war (Gais et al., 2007).

Zur Frage wie Schlaf nun die Gedächtnisbildung unterstützt gibt es im Wesentlichen zwei Hypothesen. Die „dual process theory“ (Born et al., 2006; Gais & Born, 2004; Maquet, 2001), welche aussagt, dass während der Schlafphasen REM und Non-REM jeweils andere Inhalte konsolidiert werden, nämlich wie oben beschrieben im Non-REM-Schlaf vor allem hippocampusabhängiges, deklaratives Gedächtnis und im REM-Schlaf non-deklarative Inhalte.

Die zweite Hypothese, die „sequential hypothesis“⁴ (Gais, Plihal, Wagner, & Born, 2000; Giuditta et al., 1995) besagt, dass die Konsolidierung vor allem von der Abfolge von Non-REM- und REM-Schlaf innerhalb eines Schlafs profitiert. Von einer strikten Trennung beider Hypothesen kann aber nicht ausgegangen werden. Unter anderem ist das prozedurale Lernen unter REM-Schlaf-Suppression, wozu es durch eine Behandlung mit bestimmten Antidepressiva kommt, nicht beeinträchtigt (Rasch, Pommer, Diekelmann, & Born, 2009). In dieser Studie konnte vielmehr eine Zunahme des Schlafs in Stadium zwei beobachtet werden. Am ehesten sind nicht die einzelnen Schlafstadien an sich, sondern deren neurophysiologische Mechanismen (die in anderem Ausmaß auch in den anderen Schlafphasen vorhanden sind) für Konsolidierung verantwortlich (Diekelmann & Born, 2010).

Neben der Konsolidierung scheint Schlaf noch eine andere wichtige Aufgabe bei der Gedächtnisbildung zu haben, nämlich das Gehirn nach einem Tag voller neuer Eindrücke über die Schlafphase wieder bereit zu machen für die Aufnahme neuer Informationen am Folgetag. Dies scheint durch eine globale Regulation der Synapsenstärken im Schlaf zu erfolgen, um die Homöostase wieder herzustellen und ein weiteres Enkodieren überhaupt erst zu ermöglichen (Tononi & Cirelli, 2006, 2014).

⁴ engl.: Sequenzhypothese

1 Einleitung

Die Autoren verfolgen die Hypothese, dass hauptsächlich während des SWS ein „Downscaling“⁵ der Synapsen erfolgt, die während der zuvor erfolgten Enkodierung durch die Potenzierung zu stärkerer Aktivität angeregt wurden. Ansonsten könne sich irgendwann ein Sättigungszustand einstellen und es wäre keine neue Enkodierung mehr möglich. Dieses globale „Downscaling“ von Synapsen konnte vor allem im REM-Schlaf beobachtet werden (Born & Feld, 2012; Li, Ma, Yang, & Gan, 2017).

Weiterhin fiel jedoch auch für spezifische Synapsen ein „Upscaling“⁶ während des Schlafs (vor allem im SWS) auf, was als weitere Erklärung für den Effekt von Schlaf auf eine Erinnerung dienen könnte (Yang et al., 2014). Wenn bestimmte lokale Synapsenverbindungen im Schlaf noch weiter gestärkt werden, dient die globale Downregulation möglicherweise auch dazu, um insgesamt die Homöostase aller Synapsen wiederherzustellen, auch diskutiert wird jedoch ein „Downscaling“ zum Löschen/Vergessen mancher Inhalte (Niethard, Burgalossi, & Born, 2017).

1.3.1 Schlaf und episodisches Gedächtnis

Zu den Auswirkungen von Schlaf nur im Speziellen auf das episodische Gedächtnis gibt es bisher kaum Studien (Inostroza & Born, 2013a). Um episodisches Gedächtnis zu untersuchen, werden vor allem zwei verschiedene Konzepte verwendet, zum einen „what-where-when“⁷ (Nicola S Clayton & Dickinson, 1998), zum anderen „what-where-which“⁸ (Eacott & Norman, 2004; Easton & Eacott, 2008). Bei Letzterem wurde die zeitliche Komponente, wann genau etwas stattfand, ersetzt durch einen eher weiter gefassten Begriff der weiteren Begleitumstände des Erlebnisses. Welches dieser Paradigma nun episodisches Gedächtnis besser erfasst, ist noch Gegenstand von Diskussionen (Easton, Webster, & Eacott, 2012; Oyanedel, Sawangjit, Born, & Inostroza, 2019).

Bei der Untersuchung der Auswirkungen von Schlaf auf das episodische Gedächtnis fiel auf, dass Schlaf möglicherweise eher einen Einfluss auf die

⁵ engl.: Herunterregulierung

⁶ engl.: Hochregulierung

⁷ engl.: Was-Wo-Wann

⁸ engl.: Was-Wo-Welche, im Sinne von bei welcher Gelegenheit kam die Erinnerung zustande

1 Einleitung

Speicherung der Kontextinformation eines Erlebnisses hat, als auf die Speicherung des Erlebnisses selbst (Rauchs et al., 2004; Spencer, Sunm, & Ivry, 2006; Van Der Helm et al., 2011).

Eine Studie an Ratten ergab, dass insbesondere die Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlichen und zeitlichen Kontext, von Schlaf zu profitieren scheint (Inostroza, Binder, & Born, 2013). Die Untersuchung wurde unter Nutzung von „Was-Wo-Wann“-Aufgaben durchgeführt (WWW). Da bei Tieren das von Tulving geforderte Selbstbewusstsein als Voraussetzung für episodisches Gedächtnis bisher nicht belegt werden kann, jedoch durchaus, dass sie Erinnerungen an bestimmte Objekte (Was?) haben und wann und wo sie diese gesehen haben, wird bei Tieren von einem episodischen Gedächtnis gesprochen. Mitchell und Laiacona (Mitchell & Laiacona, 1998) fanden heraus, dass Ratten sich bei der erneuten und gleichzeitigen Präsentation zweier vorbekannter Objekte länger mit demjenigen beschäftigen, welches sie vor längerer Zeit kennen gelernt hatten. Ebenso wurden vorbekannte Objekte länger inspiziert, die bei erneuter Präsentation an einer anderen Stelle als zuvor gezeigt wurden, als diese, die an demselben Ort wieder zu finden waren (Ennaceur, Neave, & Aggleton, 1997).

Kart-Teke et al. (Kart-Teke, Silva, Huston, & Dere, 2006) nutzten diese Erkenntnisse, um sie in Kombination zu untersuchen. Den Tieren waren in zwei Durchgängen zur Enkodierung (erste Episode: „old“⁹ (O) und zweite Episode: „recent“¹⁰ (R)) in einem Käfig Gegenstände gezeigt worden, die diese erkunden konnten. Für den Abruf wurden alle vier Objekte erneut platziert, jedoch jeweils ein Gegenstand aus jeder Episode an einem anderen Ort („displaced“ (D))¹¹. Die zwei übrigen Gegenstände blieben stationär („stationary“ (S))¹².

Hierbei fand sich, dass die Ratten zwar bei den erst kürzlich gesehenen, bekannten Objekten bei erneuter Präsentation das verschobene Objekt länger inspizierten als das stationäre, bei vor längerer Zeit zuletzt gezeigten Objekten

⁹ engl: alt

¹⁰ engl: kürzlich, hier im Sinne von „neuer“

¹¹ engl: verschoben an einen anderen Ort

¹² engl: stationär

Die englischen Bezeichnungen wurden aus Referenzgründen und zur einfacheren Vergleichbarkeit der Studien und der Abbildungen beibehalten.

1 Einleitung

(O) jedoch das stationäre Objekt länger untersuchten. Die Autoren schlossen aus dieser Interferenz, dass die zeitlichen und räumlichen Komponenten der Aufgabe nicht einzeln, sondern zusammenhängend gespeichert sein müssen. Diese Ergebnisse wurden aufgegriffen von Inostroza et al. (Inostroza et al., 2013), die nun untersuchten, ob Ratten bei dieser Aufgabe zum episodischen Gedächtnis von Schlaf profitieren.

Das Experiment wurde in zwei Gruppen durchgeführt, eine Gruppe durfte vor dem Abruf schlafen, die andere war in dieser Zeit wach. Das Muster der Erkundungszeiten in der Gruppe der Tiere, die nach der Erkundung zunächst schlafen durften, wich von dem der Wachgruppe ab. Im Abruf zeigten diese Tiere viel kürzere Erkundungszeiten für die Objekte OD und RS als zu erwarten. In der gewählten Darstellung ergab sich ein U-förmiges Muster (ähnlich wie in Abbildung 9, Abruf Post 1 zu sehen). Es zeigte sich also eine Interaktion zwischen den räumlichen und zeitlichen Kontextfaktoren, sodass von einer Einbindung der Erinnerung im räumlich-zeitlichen Kontext im Zusammenhang mit Schlaf ausgegangen werden konnte (Oyanedel et al., 2014). Die Unterscheidung, ob die Ratten ein Objekt schon einmal gesehen hatten oder nicht, profitierte hingegen nicht von Schlaf, Schlaf- und Wachgruppe zeigten ähnliche Ergebnisse. Allerdings gibt es auch Studien, die im Gegenteil darauf hindeuten, dass Schlaf nach der Enkodierung dazu beiträgt, dass ein Gedächtnisinhalt unabhängig wird von seinem Kontext in dem er gelernt wurde (Cairney, Durrant, Musgrove, & Lewis, 2011; Deliens & Peigneux, 2014).

Bisher war das episodische Gedächtnis bei Menschen vor allem explizit durch verbale Abfragen überprüft worden. Um episodische Erinnerungen von semantischem Wissen abzugrenzen, wurde meist gefragt, ob sich die Probanden tatsächlich an die gesamte Lernsituation oder nur an die Wissensinhalte ohne Zusammenhang wann und wo diese genau erworben wurden, erinnern (Yonelinas, 2002). Durch Weber et al. (Weber, Wang, Born, & Inostroza, 2014) wurde nun eine Methode entwickelt, um auch beim Menschen episodisches Gedächtnis implizit zu untersuchen. Hierzu erfolgte die Erfassung

1 Einleitung

von visuellen Erkundungszeiten von am Bildschirm präsentierten Objekten in ähnlicher Versuchsanordnung wie in den Studien an Ratten. Es zeigte sich tatsächlich ein Blickverhalten, welches der motorischen Erkundung der Objekte durch die Ratten ähnlich war. Anhand dieses Blickverhaltens entwickelte Weber einen episodischen Score, der die Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlich-zeitlichen Kontext abbildet. Durch eine implizite Untersuchungsmethode ist es zum Beispiel möglich, auch Kinder vor dem Spracherwerb zu untersuchen und bei Erwachsenen zu vermeiden, dass durch die verbale Abfrage oder die Verwendung von Fragebögen eher semantisches Wissen statt episodisches getriggert wird.

Zum Vergleich beider Abfragemethoden wurde auch eine explizite Messung der Erinnerung mittels Fragebögen durchgeführt. Der Versuch wurde in zwei verschiedenen Gruppen durchgeführt. Eine Gruppe durfte zwischen Lernen und Abfrage acht Stunden schlafen, die andere blieb wach. Wie in der Studie an Ratten zeigte sich eine signifikante Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlichen und zeitlichen Kontext nur in der Probandengruppe, die zwischen Enkodierungs- und Abrufphase schlafen durfte. Auch hier war ein bestimmtes Muster in den visuellen Erkundungszeiten nach dem Schlaf feststellbar. Eine positive Korrelation hatte der Vergleich der Ergebnisse von impliziter und expliziter Messung ergeben.

1.4 Ziele der vorliegenden Arbeit und Hypothesen

Die Ziele der vorliegenden Arbeit waren:

1. Die Ergebnisse der Schlafgruppe (Post-Gruppe) der Vorstudie zu replizieren, da aufgrund der geringen Gruppengröße ($n = 15$ in der Gruppe Schlaf, $n = 14$ in der Gruppe Wach) nur eine begrenzte Aussagekraft bestand. Es sollte überprüft werden, ob sich erneut ein positiver episodischer Score und somit das vorbekannte Muster der U-Form in den visuellen Erkundungszeiten im impliziten Abruf nachweisen lässt und ob erneut eine Korrelation zwischen impliziten und expliziten Abrufergebnissen besteht. Dies könnte darauf

1 Einleitung

hindeuten, dass Schlaf die Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlich-zeitlichen Kontext fördert.

Weiterhin konnte mit dem Design der Vorstudie nicht beantwortet werden, wie sich eine Erinnerung quantitativ und qualitativ über den Schlaf verändert, da zwar die Ergebnisse einer Schlaf- mit denen einer Wachgruppe verglichen worden waren, aber eine intrapersonelle Vergleichsmessung vor und nach dem Schlafen fehlte. Die Ausgangssituation der einzelnen Probanden nach der Enkodierung war also nicht bekannt.

Deshalb wurde für die vorliegende Arbeit das Design verändert und eine Probandengruppe (Pre-Post-Gruppe) aufgenommen, für die sowohl vor als auch nach dem Schlaf implizite und explizite Abrufe eingeführt wurden, um die quantitativen und qualitativen Auswirkungen von Schlaf auf das episodische Gedächtnis zu untersuchen.

2. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war demnach eine intrapersonelle Messung mit implizitem und explizitem Abruf, sowohl vor als auch nach dem Schlaf, um zu untersuchen, wie sich bei einer Person die verschiedenen Teilaspekte des episodischen Gedächtnisses während eines Retentionsintervalls mit Nachtschlaf verändern und um zunächst überhaupt die Ausgangssituation nach dem Lernen festzustellen.

Zeigt sich das beobachtete Muster in der visuellen Erkundungszeit erst nach dem Schlaf und deutet damit auf einen Verarbeitungsprozess hin, oder besteht es womöglich bereits nach der Enkodierung?

Ein zweiter Abruf wurde sowohl für die implizite Messung als auch für die explizite Messung in allen Gruppen eingeführt. Von Interesse war hier vor allem, ob ein expliziter Abruf vor dem Schlaf den zweiten impliziten Abruf im Ergebnis verändern würde. Möglicherweise könnten die Probanden hierdurch verstärkt bemerken, dass die Studie sich in Wahrheit mit Gedächtnis befasst und semantische Merkstrategien anwenden. Da außerdem die Natur einer episodischen Erinnerung ist, dass sie nur einmalig auftritt, wird eine Abfrage

1 Einleitung

und somit ein in Erinnerung rufen der Inhalte möglicherweise bereits diese verändern. Weiterhin konnte die qualitative und quantitative Veränderung der Erinnerung innerhalb des begrenzten Zeitrahmens beobachtet werden. Der erste Abruf fand bereits eine Stunde nach der Enkodierung statt, während der zweite erst nach einem zehnstündigen Retentionsintervall erfolgte.

Hypothesen:

Die Ergebnisse der Post-Gruppe lassen sich replizieren.

Nach dem Schlaf lässt sich eine räumlich-zeitliche Interaktion nachweisen.

Der episodische Score unterscheidet sich nicht für die beiden impliziten Abrufe, auch wenn dem zweiten impliziten Abruf ein expliziter Abruf vorausging.

Über die Zeit des Nachtschlafretentionsintervalls ändert sich qualitativ etwas an der räumlich-zeitlichen Interaktion und damit an episodischem Gedächtnis.

2 Material und Methoden

2.1 Probandenkollektiv

An dem Experiment nahmen 29 Probanden teil (33 angenommen, davon zwei nicht erschienen und zwei schon im Verlauf des Versuchs ausgeschlossen aufgrund von technischen Problemen bei der Erfassung des Blickverhaltens). Die Probanden waren zwischen 18 und 30 Jahre alt (mittleres Alter 22 Jahre), Studenten (nicht Psychologie), Nichtraucher, deutsche Muttersprachler, körperlich und geistig gesund, normalsichtig (auch korrigiert), nahmen keine Medikamente ein außer Empfängnisverhütungsmittel und sollten in den sechs Wochen vor dem Experiment einen regelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus (keine Schichtarbeit, mindestens acht Stunden Schlaf pro Nacht, kein Mittagsschlaf) gehabt haben. Des Weiteren führten eine vorherige Teilnahme an ähnlichen Schlafexperimenten sowie eine Bettgehzeit von früher als 22:00 Uhr, später als 1:00 Uhr, oder ein unzureichendes Ergebnis bei einem Test des Kurzzeitgedächtnisses zum Ausschluss. Die Rekrutierung erfolgte vor allem über die universitäre Mailingliste. Alle angenommenen Probanden erhielten weitere Informationen zur Studie und ein Merkblatt mit Verhaltensregeln für den Zeitraum vor und während ihres Experimentalzeitraums. Per E-Mail und telefonisch wurden die Probanden instruiert, an Experimentaltagen auf koffeinhaltige Getränke und Lebensmittel, sowie auf Alkohol zu verzichten. Alle wurden schriftlich und mündlich über das Experiment aufgeklärt und gaben schriftlich ihr Einverständnis. Aufgrund des Versuchsdesigns konnten detaillierte Informationen zum Inhalt der Studie erst am Ende des Experiments gegeben werden, die Probanden wurden hierauf zu Beginn hingewiesen und gaben nach Abschluss des Experiments und genauer Aufklärung erneut ihr Einverständnis zur Nutzung der erhobenen Daten. Das Vorgehen und die gesamte Studie wurden zuvor mit der Ethikkommission der medizinischen Fakultät Tübingen abgestimmt (Projektnummer: 4632013BO2). Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung.

2.2 Design und Ablauf der Studie

Die Probanden wurden in drei verschiedene Gruppen aufgeteilt (Pre-Post, Post, Pre), deren Unterschiede im Ablauf, genauer in den Zeitpunkten der Abrufe, bestanden (siehe Abbildung 3). 14 Probanden waren der Gruppe Pre-Post (sieben männlich), zehn der Gruppe Post (fünf männlich) und fünf der Gruppe Pre (zwei männlich) zugeteilt. Die Verteilung erfolgte zufällig, je nach Wunschtermin des Probanden (zuerst Abschluss der Gruppe Pre-Post, danach die Gruppen Post und Pre). Allen war gemeinsam, dass vor dem Schlafengehen die beiden Lernphasen (Enkodierung) im Abstand von einer Stunde stattfanden. Im Schema weiter unten (Abbildung 3) sind die Episoden der impliziten Gedächtnisaufgabe genannt, hierzu gehörten auch ein weiterer Test des deklarativen Gedächtnisses und jeweils Kontrollmessungen (werden im entsprechenden Abschnitt erläutert). Die Abrufe bestanden aus einem impliziten und einem expliziten Anteil (weiter unten genauer erläutert), sowie dem Abruf des Tests zum deklarativen Gedächtnis und den Kontrollmessungen.

Bei der Gruppe Post ging es um die Fragestellung, ob die Ergebnisse der Vorstudie repliziert werden können. Die Teilnehmer wurden vier Stunden vor ihrer angegebenen normalen Bettgehzeit zur Experimentalnacht einbestellt. Zunächst wurden Actiwatch und Eingangsfragebogen ausgewertet, dann EEG, EOG und EMG angelegt, um auch während der Lernphasen eine Aufzeichnung zu erhalten (diese wurde in dieser Arbeit jedoch nicht ausgewertet). Zweieinhalb Stunden vor der Bettgehzeit begann das Experiment mit den unten näher erläuterten Kontrollmessungen. Es folgte die erste Enkodierungsphase und im Abstand von einer Stunde die zweite Enkodierungsphase, erneut mit vorangehenden Kontrollmessungen. In Zeiten, die nicht mit Messungen gefüllt waren, wurden die Probanden mit dem einfachen Computerspiel Snood (www.snood.com) beschäftigt, um zu verhindern, dass Inhalte der vorherigen Aufgaben aktiv wiederholt wurden.

Nach Abschluss der Enkodierungsphasen folgte ein Retentionsintervall von zehn Stunden, welches acht Stunden Nachtschlaf beinhaltete. Am nächsten Morgen erfolgte zunächst die Abfrage der Schlafqualität mittels Fragebogen

2 Material und Methoden

(siehe Kontrollmessungen), eine Stunde nach dem Aufstehen der erste Abruf und circa zwei Stunden nach Ende des ersten Abrufs der zweite Abruf, jeweils erneut mit vorangehenden Kontrollmessungen. Die Versuchszeit lag für die Experimentalnacht bei ca. 16,5 Stunden.

Mit der Gruppe Pre-Post sollte die zweite Fragestellung untersucht werden, was über eine Nacht Schlaf mit dem episodischen Gedächtnis passiert, daher wurde bei diesen Probanden eine Abfrage vor dem Schlafen und eine Abfrage nach dem Schlafen durchgeführt. Der erste Abruf fand hier eine Stunde nach der zweiten Enkodierung statt, also vor dem Schlafengehen, zu dem von dem jeweiligen Probanden angegebenen normalen Bettgehzeitpunkt. Nach der achtstündigen Schlafphase folgte am nächsten Morgen, eine Stunde nach dem Aufstehen, der zweite Abruf. Beginn und weiterer sonstiger Ablauf entsprachen dem der Post-Gruppe. Die Versuchszeit der Experimentalnacht betrug zunächst 16,5 Stunden, aufgrund der starken subjektiven Ermüdung der Probanden wurde jedoch nach fünf Probanden das Protokoll gekürzt, indem der erste explizite Abruf gestrichen wurde. Die Versuchszeit lag danach bei ca. 15 Stunden.

Ein Vergleich der Ergebnisse der beiden Gruppen Post und Pre-Post nach dem Schlaf sollte zeigen, ob sich durch den Abruf vor dem Schlaf in der Pre-Post-Gruppe ein Unterschied zur Gruppe Post im jeweils ersten Abruf nach dem Schlaf ergab.

Die Gruppe Pre diente als Wach-Vergleichsgruppe und außerdem der Beantwortung der Fragestellung, ob sich durch größeren Abstand (im Wachzustand) zu den Abrufen das Ergebnis ändert. (Diese Fragestellungen werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht behandelt.) Deshalb erfolgten in dieser Gruppe alle Abrufe vor dem zu Bett gehen. Der erste Abruf wurde hier aber erst zwei Stunden nach der Enkodierung, zur angegebenen normalen Bettgehzeit durchgeführt. Eine Stunde nach Ende dieses Abrufs folgte dann der zweite Abruf. Da trotz längerer Latenzzeit zwischen Enkodierung und erstem

2 Material und Methoden

Abruf dieser zur normalen Bettgehzeit durchgeführt wurde, mussten die Probanden bereits fünf Stunden vorher im Schlaflabor sein. Die gesamte Versuchszeit (ohne Habituationsnacht) betrug für diese Probanden ca. 17,5 Stunden.

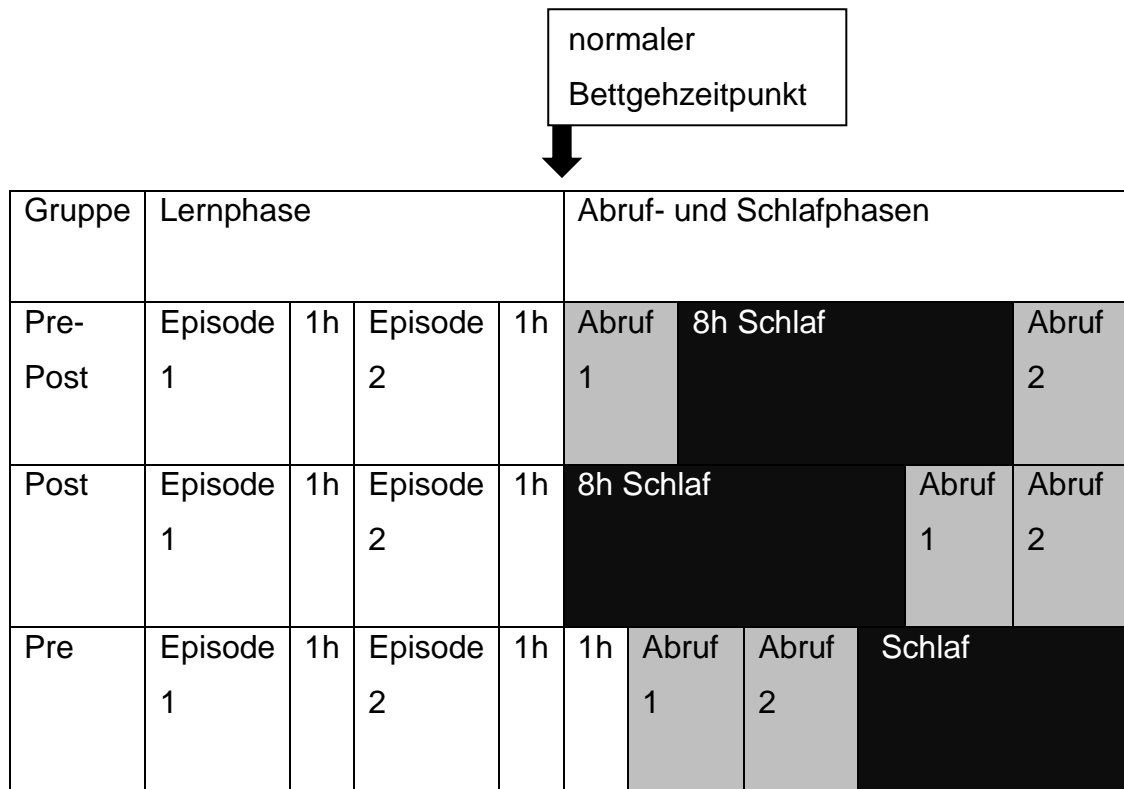


Abbildung 3: Schema zum Versuchsablauf in den einzelnen Gruppen

Ablauf in den einzelnen Gruppen mit jeweils einer Stunde (h) Abstand zwischen den Episoden, die Unterschiede der Gruppen liegen in den Zeitpunkten der Abrufe und dem Schlafbeginn, zur besseren Abgrenzung sind Abrufe und Schlafphasen farblich unterlegt

Alle Probanden kamen am Tag vor dem Experiment zu einer Eingewöhnungsnacht (Habituationsnacht) ins Schlaflabor. Zweieinhalb Stunden vor ihrer normalen Bettgehzeit wurden die Probanden einbestellt. Es erfolgten dann zunächst einige Kontrollmessungen (siehe unten) und im Anschluss die „Face Familiarization“¹³: Um die Teilnehmer mit den Gesichtern, die im Experiment verwendet wurden, vertraut zu machen, wurden diese vorab

¹³ engl.: etwa Bekanntmachung mit den Gesichtern

2 Material und Methoden

gezeigt. Der Ablauf war der Gleiche wie in der Vorstudie. Die Probanden wurden mündlich vom Versuchsleiter und schriftlich über den Bildschirm instruiert, sich mit den Gesichtern vertraut zu machen und über den Zeitraum der Aufgabe aufmerksam zu bleiben. Jeweils angekündigt durch den Kommentar „Schau mal“ wurden 16 verschiedene weibliche Gesichter (um unterschiedliches Ansprechen der Probanden auf die Gesichter zu vermeiden) (Penton-Voak et al., 1999) mit neutralem Gesichtsausdruck gezeigt [aus FACES database (Ebner, Riediger, & Lindenberger, 2010)]. Das Bild wurde zuerst am Bildschirmrand eingeblendet und bewegte sich auf eine zufällige Position, nicht aber in die Mitte des Bildschirms, um eine räumliche Interferenz mit den gezeigten Gesichtern in den Episoden des Experiments zu vermeiden. Für sieben Sekunden blieb das Gesicht dann auf dieser Position stehen. Der zeitliche Abstand bis zum Auftauchen des nächsten Gesichts betrug zwei Sekunden. Nach einem kompletten Durchlauf folgten 30 Sekunden Pause, der nächste Durchlauf wurde akustisch mit „Achtung“ angekündigt. Insgesamt erfolgten fünf Durchläufe. Die Face Familiarization fand in einem anderen Versuchsraum statt als das Experiment, um einen unterschiedlichen Enkodierungskontext zu schaffen.

Schließlich erfolgte das Anlegen von EEG, EOG und EMG, dies diente ausschließlich zur Gewöhnung, die Daten wurden nicht ausgewertet. Die Probanden durften danach acht Stunden schlafen und erhielten am nächsten Morgen eine Actiwatch (Actiwatch 2, Philips, Niederlande) mit entsprechenden Instruktionen, die sie bis zum Abend (Beginn der Experimentalnacht) tragen sollten.

In den Gruppen Pre-Post und Post schliefen die Probanden außerdem circa zwei Wochen nach Abschluss ihrer Experimentalnacht für eine Referenzmessung ihres Schlafverhaltens erneut eine Nacht im Schlaflabor.

Die Versuche wurden im Zeitraum zwischen dem 13.09.2014 und dem 23.01.2015 im Kinderschlaflabor der Universität Tübingen durchgeführt. Aufgrund von Terminüberschneidungen mit Experimentalnächten wurden die

Habituationsnächte bei vier Probanden bis zur Bettgezeit und bei einem Probanden komplett von einem anderen Experimentator durchgeführt. Außerdem war dies bei den Referenznächten von 6 Probanden bis zur Bettgezeit und bei einem Probanden für die gesamte Zeit der Referenznacht der Fall.

2.3 Enkodierungsphasen

Um die Bildung von episodischem Gedächtnis zu untersuchen, muss erst einmal ein „Erlebnis“ zur Enkodierung stattgefunden haben. Hierzu wurden den Probanden in zwei verschiedenen Episoden Gesichter gezeigt, die schon aus der Habituationsnacht bekannt waren, um die Aufmerksamkeit der Teilnehmer auf das zeitliche und räumliche Erscheinen der Gesichter zu lenken. Um zu verhindern, dass die Probanden gezielt versuchten, sich mittels semantischer Lernstrategien Dinge aus den Episoden zu merken, war ihnen vorab erklärt worden, es gehe in der Studie lediglich um „Aufmerksamkeit und Schlaf“ und deren wechselseitiger Beeinflussung. Wie bereits in der Vorstudie (Weber et al., 2014) beschrieben, wurde den Teilnehmern zunächst am Bildschirm (ASUS Model VE 248H, 24-in, 16:9, 1920x1080 pixel) ein Gitternetz gezeigt, näher bezeichnet als „Haus mit Fenstern“ (Software Presentation®, Neurobehavioral Systems, Version 15.1, Berkeley, CA, USA). Per Einblendung wurde aufgefordert, zu erkunden, hinter welchen Fenstern Gesichter sind. Es wurden vier randomisiert ausgewählte Gesichter aus den 16 in der Habituationsnacht vorgestellten Gesichtern gezeigt, zunächst in einer Übersichtsphase für 15 Sekunden alle vier gleichzeitig auf ihrer jeweiligen Position (ebenfalls randomisiert, aber bestimmten Regeln folgend, siehe unter 2.4.1). Der Proband wurde aufgefordert, die danach wieder geschlossenen Fenster zu erkunden („Triggerphase“). Per Eyetracking-System¹⁴ (Eyefollower 2.0, interactive minds, tracking rate 60 Hertz für jedes Auge, Kalibrierung vor jeder einzelnen Nutzung) wurde erfasst, welches Fenster sich der Proband ansah. Sobald eines der Fenster, hinter dem sich ein Gesicht befand, insgesamt 0,2 s fixiert worden war, erschien das Gesicht. Es blieb solange eingeblendet, bis der Proband es

¹⁴ Computersystem zur Verfolgung der Augenbewegungen bei Betrachtung eines Bildschirms mittels einer Kamera

insgesamt sieben Sekunden angesehen hatte. War ein Gesicht getriggert, mussten daraufhin erst die drei übrigen ebenfalls getriggert werden, bevor in einem neuen Durchgang, der ebenfalls wieder mit einer Übersichtsphase begann, wieder alle Gesichter zur Verfügung standen. Insgesamt gab es drei Durchgänge. Eine Episode dauerte je nach Länge der Triggerphase zwischen dreieinhalb und zehn Minuten. Die zweite Episode, die genau eine Stunde später stattfand, lief ebenso ab. Es wurden hierbei vier neue Gesichter aus den 16 bekannten verwendet, davon zwei auf Positionen, wo sich in Episode eins kein Gesicht befunden hatte und zwei auf Positionen, wo sich bereits in Episode eins Gesichter befunden hatten.

2.4 Abruf

Die beiden Abrufe bestanden jeweils aus einem impliziten und einem expliziten Anteil. Die Dauer der Abrufe selbst lag für den impliziten Teil bei maximal fünf Minuten, für den expliziten Teil lag die Dauer zwischen 12 bis maximal 15 Minuten. Nur bei den ersten fünf Probanden der Pre-Post- Gruppe wurde auch vor dem Schlafengehen ein expliziter Abruf durchgeführt, denn aufgrund der starken subjektiven Ermüdung der Probanden wurde dieser im weiteren Verlauf der Studie gestrichen. In der Auswertung erfolgt daher auch ein Vergleich dieser Subgruppen mit der Fragestellung, ob ein expliziter Abruf vor einem impliziten Abruf dessen Ergebnis beeinflusst.

2.4.1 Impliziter Abruf des episodischen Gedächtnisses

Die impliziten Abrufe erfolgten mittels Eyetracking. Da die Ergebnisse zum Teil mit denen der Vorstudie verglichen werden sollten, wurden die gleichen Methoden für Durchführung und Auswertung angewendet wie in dieser Studie: Um die implizit gelernten Inhalte zu ermitteln, wurden den Probanden in einer einzigen Übersichtsphase gleichzeitig vier, der in den Enkodierungsphasen verwendeten acht Gesichter erneut im bereits bekannten Gitternetz gezeigt. Die Positionierung der Gesichter erfolgte randomisiert, aber bestimmten Regeln folgend, die sich in der Vorstudie als geeignet erwiesen hatten, um Verfälschungen der Ergebnisse durch Confounding zu vermeiden:

2 Material und Methoden

- die Mitte des Gitternetzes blieb stets frei
- jeweils zwei der vier Gesichter stammten aus der ersten (O) und zweiten (R) Enkodierungsphase
- je ein Gesicht aus erster und zweiter Enkodierungsphase blieb in der Abrufphase stationär an dem Ort im Gitternetz, wo es auch zuvor gezeigt worden war (OS, RS)
- die übrigen beiden Gesichter wurden im Gitternetz verschoben (OD, RD) auf eine Position, die in der Enkodierungsphase in der sie gezeigt worden waren, nicht besetzt war
- auf der Position des Gesichts OS befand sich während der zweiten Enkodierungsphase ein anderes Gesicht
- das Gesicht RS wurde in einem Abruf auf einer Position gezeigt, die in der vorigen Episode nicht besetzt gewesen war und im anderen Abruf auf einer Position, die in der ersten Enkodierungsphase durch ein anderes Gesicht belegt war
- das Gesicht RD wurde in der Abrufphase auf einer Position gezeigt, wo sich in der ersten Enkodierungsphase (O) ein Gesicht, welches in der entsprechenden Abrufphase nicht mehr verwendet wurde, befunden hatte
- das Gesicht OD wurde in der ersten Abrufphase auf der Position gezeigt, wo in Episode zwei das Gesicht RD platziert gewesen war
- in den beiden Episoden waren jeweils zwei gleiche Positionen durch Gesichter belegt

Im zweiten impliziten Abruf wurden die vier übrigen Gesichter aus den Enkodierungsphasen verwendet, die im ersten Abruf nicht zum Einsatz gekommen waren. Ein Beispiel ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

O3			R7	R5	
O1					R6
	O4	O2			R8
Beispiel für Episode eins			Beispiel für Episode zwei		
	O1D		O3S		
		R6S	R7D		O4D
	R5D	O2S			R8S
Beispiel für impliziten Abruf eins			Beispiel für impliziten Abruf zwei		

Abbildung 4: Schema zur Anordnung der Gesichter

Legende: O = old, Gesicht aus Episode eins; R = recent, Gesicht aus Episode zwei; S = im Abruf stationär verbliebenes Gesicht im Vergleich zur Episode; D = displaced, im Abruf verschobenes Gesicht im Vergleich zur Episode; Ziffern stehen für die acht verwendeten Gesichter; fetter Druck für im zweiten Abruf verwendete Gesichter

Auch in der Abrufphase wurde nach einer erneuten Kalibrierung mittels Eyetracking-System registriert, wie lange und wie häufig welches Gesicht angesehen wurde. Für die Auswertung wurden nur die Messungen des in der Habituationsnacht ermittelten dominanten Auges verwendet. Die Abfrage wurde beendet, wenn jedes Gesicht mindestens drei Sekunden betrachtet worden war. Gezählt wurden als „Blicke“, die Zeit, die das dominante Auge mit mindestens einer „Fixierung“ in eines der Gesichterfelder sah und als „Fixierungen“, wenn das Gesicht mindestens 0,1s nach Abzug von

2 Material und Methoden

Blinzelartefakten angesehen worden war. Die „Blicke“ wurden solange gezählt, bis jedes Gesicht mindestens einmal angesehen worden war. Die visuelle Explorationszeit wurde dann für jedes Gesicht ermittelt, indem die Gesamtzeit (in Millisekunden) aller Blicke auf dieses Gesicht durch die Anzahl der Blicke dividiert wurde. Ausgewertet wurden nur die ersten 30 s der Aufzeichnung. Die so ermittelten visuellen Erkundungszeiten für jedes Gesicht bildeten die Grundlage für die Messung des impliziten episodischen Gedächtnisses.

In verschiedenen Studien an Menschen und Ratten (Inostroza et al., 2013; Kart-Teke et al., 2006; Oyanedel et al., 2014) war aufgefallen, dass Objekte, die vor längerer Zeit präsentiert wurden als andere, bei erneuter Präsentation im Vergleich länger betrachtet/inspiziert werden (Präferenz altes Objekt > neueres Objekt). Weiterhin schienen Objekte, die bei erneuter Präsentation an einer anderen Position als beim ersten Erkunden gezeigt wurden, länger erkundet zu werden, als Objekte, die wieder an derselben Position präsentiert wurden (Präferenz für verschobenes Objekt > stationäres Objekt). Vermutet wird, dass „neue“ Dinge interessanter sind, als bekannte, also in diesem Fall die Aufmerksamkeit eher auf ein Objekt gerichtet ist, was an einem anderen Ort auftaucht, als aufgrund der vorhergehenden Erfahrung vermutet und dass ein Objekt, was schon länger nicht mehr gesehen wurde interessanter ist im Vergleich zu jenem, was erst vor kurzem aufgetaucht war. Die Auswahl der entsprechenden Objekte lässt darauf schließen, dass eine Erinnerung an die vorigen Präsentationen vorhanden sein muss.

Entsprechend der oben genannten Beobachtungen wurde erwartet, dass ein Objekt was sowohl schon länger bekannt war (O) als auch zudem noch verschoben wurde eine noch längere Erkundungszeit auslöst. Dies war jedoch in der Studie von Inostroza und Born (Inostroza et al., 2013) und auch in der Studie von Weber et al. nicht so. Die Objekte auf der Position alt-verschoben wurden viel kürzer angesehen als durch die Summation der Effekte erwartet gewesen wäre. Es scheint eine räumlich-zeitliche Interaktion zu geben. Hierdurch könnte sich eine episodische Erinnerung (= Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlich-zeitlichen Kontext) zeigen.

2 Material und Methoden

Um diese Vermutung zu unterstützen wurden verschiedene implizite Gedächtnisscores berechnet (Oyanedel et al., 2014; Weber et al., 2014): Für den räumlichen Score wurden die Erkundungszeiten der Gesichter auf im Abruf veränderten (verschoben, displaced) Positionen addiert (da hier längere Erkundungszeiten beobachtet wurden) und die Erkundungszeiten der beiden stationär verbliebenen Gesichter davon subtrahiert (um nach den Beobachtungen der Vorstudien ein möglichst positives Ergebnis zu erhalten). Das Ergebnis wurde dividiert durch die gesamte Erkundungszeit für alle vier Gesichter.

$$\text{Räumlicher Score} = \frac{[(OD+RD)-(OS+RS)]}{(OS+OD+RS+RD)}$$

Für den zeitlichen Score wurden die Erkundungszeiten für die beiden Gesichter aus der ersten Episode (alt, old) addiert (da die länger bekannten Gesichter bei erneuter Präsentation länger angesehen wurden) und hiervon die beiden Erkundungszeiten für die Gesichter aus der zweiten Episode subtrahiert, bevor ebenfalls der Wert durch die Gesamterkundungszeit für alle vier Gesichter dividiert wurde.

$$\text{Zeitlicher Score} = \frac{[(OS+OD)-(RS+RD)]}{(OS+OD+RS+RD)}$$

Die auffällige zeitlich-räumliche Interaktion mit, wie oben beschrieben, anderen Erkundungszeiten als durch eine reine Addition erwartet, wurde in einem weiteren Score verdeutlicht: Die Summe der beiden Gesichter, die in den Vorstudien am kürzesten betrachtet wurden (OD, RS) wurde subtrahiert von den beiden die länger betrachtet wurden (OS, RD). Das Ergebnis wurde durch die Gesamtsumme der Erkundungszeiten für alle vier Gesichter dividiert.

Dieser Score zeigt die räumlich-zeitliche Interaktion, die möglicherweise auf eine episodische Erinnerung hindeutet und dient daher zur Erfassung der impliziten episodischen Erinnerung. Aus diesem Grund wurde er „Episodischer Score“ (engl.: episodic binding score) genannt.

$$\text{Episodischer Score} = \frac{[(OS+RD)-(OD+RS)]}{(OS+OD+RS+RD)}$$

2.4.2 Expliziter Abruf des episodischen Gedächtnisses

Die Erfassung des gebildeten expliziten episodischen Gedächtnisses erfolgte wie in der vorangegangenen Studie mittels Fragebogen am Computer und fand fünf Minuten nach der impliziten Abfrage statt. Erfragt wurde in randomisierter Reihenfolge die Erinnerung an 24 Gesichter, davon acht bekannt aus den Episoden eins und zwei und acht weitere bekannt aus der Face Familiarization. Erfasst wurden in quantitativen Messungen, an welche Gesichter sich die Probanden als den Episoden oder der Face Familiarization zugehörig erinnerten (Was?); außerdem, ob der genaue Ort des Auftauchens des jeweiligen Gesichts im Gitternetz (Wo?) und /oder die Zeit (Welche Episode?, also Wann?) erinnert wurden. Zusätzlich wurde ermittelt für wie viele Gesichter alle drei abgefragten Informationen korrekt waren. Im Unterschied zur Vorstudie wurden die drei Informationen hier getrennt abgefragt. Die Gesichter wurden in der Mitte des Bildschirms präsentiert, wo in der Face Familiarization, den Episoden und den impliziten Abfragen nie ein Gesicht zu sehen gewesen war. Folgende Fragen waren zu beantworten:

1. „Haben Sie diese Person schon einmal gesehen?“ Zur Auswahl standen:
a) „lebhaftere Erinnerung“ b) „keine Details, nur Wissen“ c) „Neu“
2. „Wann haben Sie diese Person gesehen?“ Hier standen zur Wahl:
a) „Innerhalb der Sitzungen eins oder zwei.“ b) „Weder in Sitzung eins noch in Sitzung zwei.“

Hatte sich der Proband für 2.a) entschieden, folgten die Fragen: „In welchem Fenster haben Sie die Person schon einmal gesehen?“, mit einem Gitternetz zum Anklicken des jeweiligen Fensters und „Wann genau haben Sie diese Person gesehen?“ mit den Wahlmöglichkeiten a) „In Sitzung eins.“ oder b) „In Sitzung zwei.“ Die Fragen zu „Wann“ und „Wo“ wurden in randomisierter Reihenfolge abgefragt.

Die Qualität der Erinnerung sollten die Probanden für jede der oben genannten Fragen selbst einschätzen. Hierzu gab es drei Möglichkeiten zur Auswahl: „lebhaftere Erinnerung“, „keine Details, nur Wissen“, „geraten“ (Rajaram, 1993; Yonelinas, 2001). Ebenso wurden sie aufgefordert anzugeben, wie sicher sie sich mit der Antwort (auf die vorhergehende Frage, nicht in Bezug auf die

2 Material und Methoden

Qualität der Erinnerung) auf einer Skala von 1-5 (nicht sicher-sehr sicher) waren (Easton et al., 2012). Die gesamte Abfrage wurde zuvor anhand von Beispielen zu jeder Frage erklärt, der Proband selbst hatte dann zunächst anhand eines weiteren Beispiels zu zeigen, dass er die Aufgabe verstanden hatte, bevor die eigentliche Abfrage begann. Nachdem alle 24 Gesichter abgefragt worden waren, gab es zu jeder der zwei Episoden separat zwei weitere Fragen:

1. „In wie vielen Fenstern waren Personen zu sehen?“,
2. „Wo genau waren die Personen zu sehen?“.

Die Probanden wurden aufgefordert, nur dort im Gitternetz Markierungen zu setzen, wo sie sich ganz sicher waren ein Gesicht gesehen gehabt zu haben und nicht zu raten.

Die Auswertung erfolgte wie in der Vorstudie und hier getrennt für ersten und zweiten Abruf, folgendermaßen:

1. Wie viele der Gesichter, die in einer Episode vorgekommen waren (also maximal 8) erkannte der Proband als bekannt?
2. Wie viele der korrekt als bekannt angegebenen Gesichter wurden danach auch korrekt als einer der beiden Episoden zugehörig identifiziert („Was?“)?, die Angabe erfolgte in absoluten Zahlen.
 - 2a. Wie viele der Gesichter wurden prozentual (zu 1.) als einer der zwei Episoden zugehörig erkannt („Was?“)? [Relative Angaben: („was“ in absoluten Zahlen)/ Anzahl der als bekannt angegebenen Gesichter aus den Episoden]
3. Für wie viele Gesichter, für die „Was?“ korrekt angegeben wurde war auch die Angabe „Wo?“ (an welcher Position im Gitternetz von 9 Möglichen war das Gesicht gezeigt worden) korrekt [relative Angaben: (absolute Anzahl der korrekten Angaben für „was“ und „wo“) / absolute Anzahl der korrekten Angaben für „was“]?
4. Für wie viele Gesichter, für die „Was?“ korrekt angegeben wurde, war prozentual hierzu auch die Angabe „Wann?“ (in Episode eins oder zwei) korrekt [relative Angaben: (absolute Anzahl der korrekten Angaben für „was“ und „wann“) / absolute Anzahl der korrekten Angaben für „was“] ?

2 Material und Methoden

5. Für wie viele Gesichter waren prozentual von den aus einer der Episoden bekannten Gesichtern alle drei Angaben „Was?“, „Wann?“ und „Wo?“ korrekt? (WWW, explizite episodische Erinnerung).

Um die Ergebnisse auf ihre Zufälligkeit zu überprüfen wurde das Zufallslevel für „Was?“ festgelegt bei 0,5 (in einer Episode gesehenes Gesicht oder nicht); für „Was-Wo?“ (Wo aus Was) bei 0,111 (für ein richtig als einer Episode zugehörig erkanntes Gesicht wurde der richtige Ort aus 9 möglichen genannt); für „Was-Wann?“ (Wann aus Wo) bei 0,5 (für ein richtig als einer Episode zugehörig erkanntes Gesicht wurde der richtige Zeitpunkt von 2 möglichen genannt); für „Was-Wo-Wann?“ bei 0,0278 ($1/2 \times 1/2 \times 1/9$).

Die Abfragen zur Quellensicherheit (Ursprung der Erinnerung) und das Konfidenzrating waren in der Vorstudie nicht durchgeführt worden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Daten hierzu aufgrund des geringen Stichprobenumfangs und des daher fraglichen Erkenntnisgewinns für die hier bearbeiteten Hypothesen nicht ausgewertet.

2.5 Korrelation der impliziten und expliziten Ergebnisse

Als Wert für die implizite episodische Erinnerung wurde der episodische Score berechnet, als Wert für explizite episodische Erinnerung WWW. In der Vorstudie von Weber et al. waren diese beiden Werte positiv korreliert. Dies sollte in der vorliegenden Studie daher ebenfalls überprüft werden.

2.6 Polysomnografie

Die Polysomnografie wurde während des Schlafs in Habituations- und Referenznacht, sowie während des gesamten Experimentalzeitraums aufgezeichnet. In der Habitationsnacht diente dies nur zur Gewöhnung des Probanden, sodass keine Auswertung dieser Daten erfolgte. Die Aufzeichnung beinhaltete EEG, EOG und EMG. Verwendet wurden 15 Kopfelektroden (AgCl) mit Cz als Referenz nach dem 10/20-System (Jasper, 1958) zwei

2 Material und Methoden

Mastoidelektroden, Grundelektrode auf der Stirn (1000 Hertz Aufzeichnungsrate, vorgefiltert 0,016-200 Hertz), 32-Kanal Brain Amp® Verstärker von Brain Products (MES Medizinelektronik, Gilching, Germany) und dazugehörige Software. Die Elektroden für die EOG wurden einen Zentimeter über und unter dem rechten Auge, sowie beidseits einen Zentimeter vom äußeren Augenwinkel entfernt angebracht. Die EMG erfolgte mit Elektroden rechts und links am Kinn. Ausgewertet wurden die achtstündige Schlafphasen von Experimental- und Referenznacht nach den Regeln von Rechtschaffen und Kales (A Rechtschaffen & Kales, 1968) mittels des Programms SchlafAus (Steffen Gais, Version 1.3.0.1, 2005). Das Schlafscoring wurde von zwei erfolgte durch zwei Personen durchgeführt. Die Stadien 3 und 4 wurden zusammengefasst unter Slow wave Sleep (SWS).

2.7 Kontrollmessungen

2.7.1 Paired-word-associate memory task (PAL)¹⁵

(Ngo et al., 2013; Plihal & Born, 1997)

Zunächst um auf einen regelhaften Benefit von Schlaf auf das deklarative Gedächtnis schließen zu können, wurde jeweils zehn Minuten nach den zwei Lernphasen zum episodischen Gedächtnis je eine Liste mit 40 Wortpaaren gelernt (also mit einer Stunde Abstand dazwischen). Pro Wortpaar hatten die Teilnehmer vier Sekunden Zeit zur Einprägung, dann wurde nach einer Sekunde Pause das nächste Wortpaar gezeigt. Direkt nach der Lernphase wurde die jeweilige Liste in anderer Reihenfolge abgefragt, indem eines der beiden Worte eingeblendet wurde und das dazu Gehörende genannt werden musste (= sofortiger Abruf). Im Unterschied zu Plihal und Born (Plihal & Born, 1997) erhielten die Probanden keine Rückmeldung, ob ihre Antwort korrekt war. Der PAL war auch als zusätzliche Untersuchung des episodischen Gedächtnis geplant, wie im Folgenden näher beschrieben wird, daher wurde auf eine Rückmeldung verzichtet, da ein (episodisches) Erlebnis auch nur einmal „passiert“. Im Anschluss an die beiden expliziten Abrufe sollten beide Listen in

¹⁵ engl.: assoziierte Wortpaare Gedächtnisaufgabe

2 Material und Methoden

Kombination (also alle 80 Wortpaare in randomisierter Reihenfolge) erneut abgefragt werden, hier mit der zusätzlichen Aufgabe zu benennen, in welcher Liste (eins oder zwei) das jeweilige Wortpaar vorgekommen war (= späterer Abruf). Es sollte untersucht werden, ob ein Unterschied bezüglich der korrekten Listenzuordnung (zeitliche Erinnerung) vor und nach dem Schlaf besteht und ob die Probanden sich an eine der beiden Listen (Anzahl der erinnerten Wortpaare und Zuordnung zur Liste) besser erinnern konnten, als an die andere. Über die spätere Abfrage der Wortpaare wurden die Probanden zum Zeitpunkt der Enkodierung informiert, jedoch nicht darüber, dass zusätzlich eine Listenzuordnung gefordert werden würde. Die Fragestellung bezüglich der Unterschiede vor und nach dem Schlaf konnte jedoch hier nicht beantwortet werden, da aufgrund der oben erwähnten Anpassung des Studienablaufs schließlich nur fünf Probanden der Pre-Post –Gruppe einen Abruf der 80-Wortpaar-Liste vor dem Schlafen durchlaufen hatten, bei allen anderen fand dieser Abruf (ebenso wie der explizite Abruf) lediglich nach dem Schlafen statt. Die Ergebnisse der Pre-Gruppe wurden in dieser Studie wie oben erwähnt nicht berücksichtigt.

2.7.2 Positive Affect Negative Affect Scale (PANAS)¹⁶

Die PANAS (Breyer & Bluemke, 2016; Krohne, Egloff, Kohlmann, & Tausch, 1996; Watson, Clark, & Tellegen, 1988) wurde zur Ermittlung der jeweiligen Befindlichkeit des Probanden mittels Fragebogen zum Ankreuzen am Computer eingesetzt. Auf einer Skala von 1 (gar nicht) bis 5 (äußerst) sollten 22 verschiedene Adjektive (davon 10 mit eher positiver Assoziation und 12 mit eher negativer Assoziation) auf ihr Zutreffen bezüglich der aktuellen Befindlichkeit des Probanden bewertet werden, so zum Beispiel: verärgert, hungrig, begeistert, aufmerksam. Zum Einsatz kam die Befragung jeweils vor der Face Familiarization, vor den Episoden und den Abrufen, nach dem Aufwachen in der Habitationsnacht und nach Ankunft und nach dem Aufstehen in der Referenznacht.

¹⁶ engl.: Positive Stimmung Negative Stimmung Skala

2.7.3 Stanford Sleepiness Scale (SSS)¹⁷

Die SSS (Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips, & Dement, 1973) wurde ebenfalls zu den oben genannten Zeitpunkten direkt nach der PANAS abgefragt. Hiermit wurde ermittelt wie müde sich der Proband subjektiv gerade einschätzte, von 1 (sehr wach) bis 7 (kurz vor dem Einschlafen). Bis maximal zur Angabe 4 (träge) wurde das Experiment fortgesetzt, bei höheren Angaben wurde der Proband angewiesen kurz an die frische Luft zu gehen, beziehungsweise sich zu bewegen, bis er sich wieder wacher fühlte.

2.7.4 Psychomotor Vigilance Task 10 (PVT10)¹⁸

Die PVT10 (Dinges et al., 1997) ist ein objektiver Test zur Ermittlung der Reaktionszeit und Aufmerksamkeit über zehn Minuten. Auf dem Computerbildschirm erschien vor schwarzem Hintergrund eine digitale Stoppuhr, die irgendwann plötzlich begann zu zählen. Der Proband wurde zuvor aufgefordert, immer dann so schnell wie möglich mit dem dominanten Zeigefinger die Leertaste zu drücken und somit die Uhr zu stoppen. Die Reaktionszeit konnte direkt abgelesen werden. Die Uhr startete während der zehn Minuten immer wieder erneut. Während des Tests blieb der Proband alleine im Raum, um nicht gestört zu werden. Nach jeder Beantwortung der SSS fand ein Durchgang statt. In der Vorstudie hatte dieser Test nur fünf Minuten gedauert (weniger sensitiv).

2.7.5 Eingangsfragebogen

Der Eingangsfragebogen begleitete jeden Probanden durch das Experiment. Vor jeder Nacht wurde abgefragt, ob es am Tag besondere Vorkommnisse gegeben hatte, wann zuletzt Alkohol, Koffein, Medikamente konsumiert worden waren, ob tatsächlich kein Nickerchen gemacht worden war und ob Stress bestand. Ebenso wurde festgehalten, wann der Proband ins Bett gegangen und aufgestanden war, wie lange er subjektiv geschätzt geschlafen hatte und in welchem Raum des Schlaflabors welche Nacht verbracht worden war. Die Face Familiarization in der Habitationsnacht und das eigentliche Experiment fanden

¹⁷ engl.: Stanford Schläfrigkeitsskala

¹⁸ engl.: Psychomotorischer Aufmerksamkeitstest

2 Material und Methoden

bei allen Probanden in unterschiedlichen Räumen statt. Nach Möglichkeit schliefen die Probanden aber während allen ihren Nächten im selben Raum.

2.7.6 Fragebogen Nachtschlafqualität

Jeweils nach dem Aufstehen, aber frühestens nach acht Minuten erhielten die Probanden einen laboreigenen Fragebogen zu ihrer Schlafqualität. Dieser erfasste unter anderem, wie lange der Einschlafzeitraum geschätzt wurde, wie häufig die Probanden nachts erwacht waren, ob sie sich an Träume erinnerten und ob sie sich erholt fühlten.

2.7.7 Nachbefragungsbogen

Nach Abschluss der Experimentalnacht am nächsten Morgen erhielten die Probanden einen Nachbefragungsbogen (modifiziert aus der Vorstudie). Es wurde erfragt, wie motiviert sie während der Teilnahme gewesen waren, ob sie versucht hatten sich mittels bestimmter Merkstrategien Gesichter oder deren Position einzuprägen, oder sich diese im Verlauf des Versuchs ins Gedächtnis zu rufen. Außerdem sollte der Schwierigkeitsgrad sich an Gesichter und Positionen zu erinnern angegeben werden. Zusätzlich sollte die Zeit vom Ende der ersten Lernphase bis zum Beginn der zweiten Lernphase geschätzt werden. Des Weiteren wurden die Teilnehmer aufgefordert, den gesamten Versuchsablauf noch einmal zu beschreiben und anzugeben, ob ihnen der Ablauf der Lernphasen zum episodischen Gedächtnis als zum Teil von ihnen selbst gesteuert aufgefallen war. Der gesamte Fragebogen befindet sich im Anhang.

2.7.8 Kontrollmessungen der Habituationsnacht

2.7.8.1 Visus

Der Visus der Probanden wurde mittels Landolt C Test (Bach, 2006) erfasst, falls notwendig unter Korrektur durch Brille oder Kontaktlinsen. Er sollte mindestens 1,0 (100%) betragen.

2.7.8.2 Ocular Dominance Test

Da die Daten des Eyetracking-Systems nur für das jeweils dominante Auge jedes Probanden analysiert wurden, musste dieses in der Habituationsnacht

2 Material und Methoden

mittels „hole-in-the-card-test“ (Cheng, Yen, Lin, Hsia, & Hsu, 2004) ermittelt werden. Hierzu wurden die Teilnehmer aufgefordert, sich in sechs Meter Entfernung vor eine mit einem Punkt (3cm Durchmesser) markierte Wand zu stellen und den Punkt zu fixieren. Dann erhielten sie ein Blatt Papier mit einem drei x drei Zentimeter großen Loch in der Mitte, welches so vor das Gesicht gehalten werden sollte, dass der Punkt an der Wand durch das Loch zu sehen war. Nacheinander wurden vom Versuchsleiter rechtes und linkes Auge abgedeckt. Konnte der Proband den Punkt nicht mehr sehen wenn zum Beispiel das rechte Auge abgedeckt war, so war dies das dominante Auge.

2.7.8.3 Digit Span

Dieser Versuch diente der Erfassung der Leistung des Arbeitsgedächtnisses. Eine anfangs zweistellige Ziffernsequenz wurde auf dem Computerbildschirm eingeblendet und vorgelesen. Die Probanden sollten sich diese merken und direkt wieder über die Tastatur eingeben. War die Folge korrekt, verlängerte sich die Sequenz bis zu maximal neun Ziffern. Mindestens bis zur Länge von fünf Ziffern musste die Sequenz korrekt wiedergegeben werden, um am weiteren Experiment teilnehmen zu können. Dieses Ziel wurde von allen Probanden erreicht. Die Aufgabe wurde in einer eigens dafür modifizierten Software durchgeführt (Ursprungsversion von Jared Blackburn, Version 2.1.3¹⁹).

2.7.8.4 Actiwatch

Am Morgen nach der Habituationsnacht erhielt jeder Proband eine Actiwatch (Actiwatch 2, Philips, Niederlande) die bis zum Abend, also Beginn der Experimentnacht getragen werden sollte. Die Actiwatch wurde wie eine Armbanduhr am Handgelenk der nicht dominanten Hand getragen und zeichnete Bewegung und Lichteinfall auf. Direkt nach dem Eintreffen zum Experiment wurde die Aufzeichnung ausgewertet, um auszuschließen, dass der Proband ein Nickerchen gemacht hatte.

¹⁹ <https://sourceforge.net/projects/digitspantester>, zuletzt abgerufen am 29.05.2019

2.7.8.5 Fragebogen zum Menstruationszyklus

Auch der aktuelle Zeitpunkt im Menstruationszyklus wurde erfragt, da die Gedächtnisleistung je nach Phase variiert (Genzel et al., 2012; Mordecai, Rubin, & Maki, 2008; Phillips & Sherwin, 1992). Da jedoch fast alle weiblichen Teilnehmerinnen eine hormonelle Empfängnisverhütung einnahmen, floss diese Fragestellung nicht in die Auswertung mit ein.

2.7.8.6 Verhältnis Zeige- zu Ringfingerlänge

Eine Kopie beider Hände wurde angefertigt, um die mittlere Länge der Zeigefinger (D2) mit der der Ringfinger (D4) der Probanden zu vergleichen. Allgemeine räumliche Fähigkeiten sind vermutlich geschlechtsspezifisch angeboren und werden wahrscheinlich durch die Hormone Testosteron und Östrogen in utero beeinflusst (Valla & Ceci, 2011). Diese Hormone beeinflussen auch das Verhältnis der Länge von Zeige- zu Ringfinger, da der Ringfinger zu dieser Zeit mehr Hormonrezeptoren aufweist. Bei mehr aktiven Östrogenrezeptoren oder weniger aktiven Androgenrezeptoren ist das Wachstum des Ringfingers geringer (Zheng & Cohn, 2011). Das Verhältnis D2:D4 wird also größer. Eine negative Korrelation zwischen dem D2:D4-Verhältnis und der Performance in einer Aufgabe zur Orientierung war sowohl bei Ratten als auch bei Menschen aufgefallen (N. Müller et al., 2017). Eine Auswertung der erhobenen Daten erfolgte in dieser Arbeit nicht.

2.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe der Software SPSS (IBM Statistical Product and Service Solution Statistics 22 für Windows, Version 22®) und der Software Excel (Excel 2010 für Windows, Microsoft Corporation, Redmond; USA).

Alle Werte sind als Mittelwerte +/- Standardfehler (SEM) angegeben.

Die Normalverteilung wurde mittels Kolmogorov/Smirnov oder Shapiro-Wilk-Test geprüft. Eine annähernde Normalverteilung konnte für alle Werte angenommen werden, sodass im Anschluss T-Tests durchgeführt wurden.

2 Material und Methoden

Für die Vergleiche zwischen den Gruppen wurden T-Tests für unverbundene Stichproben verwendet, für Vergleiche innerhalb der Gruppen wurden T-Tests für verbundene Stichproben genutzt. Zum Vergleich mit Zufälligkeit erfolgten T-Tests bei einer Stichprobe mit dem jeweiligen Zufallslevel als Testwert. Zur Interpretation der T-Tests für unverbundene Stichproben wurden jeweils Levene-Tests zur Prüfung der Varianzgleichheit durchgeführt.

Ein p-Wert $< 0,05$ wurde als signifikant festgelegt.

Zur Untersuchung der Korrelation zwischen implizitem und explizitem episodischen Gedächtnis (episodischer Score und WWW) wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet, da beide Variablen intervallskaliert sind.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung der Polysomnografie

Die polysomnografischen Daten wurden hinsichtlich der Gesamtschlafdauer, der Anteile der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer und der Dauer bis zum Einschlafen ausgewertet, um zu zeigen, dass die Probanden einen für den Versuch wichtigen regelhaften Schlaf hatten. Es zeigte sich sowohl in den Experimental- als auch in den Referenznächten ein normales Schlafverhalten in beiden Gruppen. Die Vergleiche der Gesamtschlafdauer, sowie der angegebenen einzelnen Stadien zwischen den Gruppen Post und Pre-Post ergaben keine signifikanten Unterschiede (jeweils p-Werte $>0,1$), sowohl in der Experimental- als auch in der Referenznacht.

Tabelle 1: Anteile der Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer der Experimentalnacht

Angaben in Minuten und Prozent \pm SEM für die Gruppen Post und Pre-Post

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)
Gesamtschlafdauer	463,80 \pm 3,45	464,46 \pm 4,41
Zeit von Licht aus bis Schlafbeginn	18,39 \pm 3,56	11,90 \pm 1,32
Stadium 1 (%)	24,00 \pm 2,39 (5,15 \pm 0,50)	24,93 \pm 3,66 (5,33 \pm 0,64)
Stadium 2 (%)	229,55 \pm 12,43 (49,50 \pm 2,67)	221,39 \pm 7,09 (47,50 \pm 1,42)
SWS (%)	88,50 \pm 10,48 (19,15 \pm 2,31)	84,86 \pm 5,85 (18,26 \pm 1,26)
REM (%)	106,00 \pm 11,48 (22,81 \pm 2,41)	122,54 \pm 5,83 (26,32 \pm 1,30)

3 Ergebnisse

Tabelle 2: Anteile der Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer der Referenznacht

Angaben in Minuten und Prozent \pm SEM für die Gruppen Post und Pre-Post

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)
Gesamtschlafdauer	460,45 \pm 5,65	462,68 \pm 4,68
Zeit von Licht aus bis Schlafbeginn	17,18 \pm 4,28	17,33 \pm 4,54
Stadium 1 (%)	27,20 \pm 5,99 (5,89 \pm 1,28)	29,79 \pm 2,73 (6,44 \pm 0,59)
Stadium 2 (%)	233,15 \pm 14,40 (50,55 \pm 2,89)	219,29 \pm 10,24 (47,39 \pm 2,19)
SWS (%)	82,05 \pm 11,50 (17,87 \pm 2,48)	85,50 \pm 6,89 (18,48 \pm 1,47)
REM (%)	95,85 \pm 8,69 (20,76 \pm 1,83)	115,42 \pm 4,76 (25,00 \pm 1,09)

Zusätzlich wurden die oben genannten Kriterien der Experimentalnächte für beide Gruppen getrennt verglichen mit den entsprechenden Kriterien der Referenznächte. Es zeigten sich für beide Gruppen keine relevanten Unterschiede zwischen dem Schlafverhalten in der Experimentalnacht und dem in der Referenznacht (p-Werte für die Gruppe Pre-Post jeweils $> 0,05$; p-Werte für die Gruppe Post jeweils $\geq 0,3$).

3.2 Auswertung der impliziten Abrufe

3.2.1 Implizite Abrufe der Post-Gruppe

Die visuellen Explorationszeiten für jedes der vier Gesichter im Abruf wurden als Mittelwerte von allen Probanden \pm SEM grafisch dargestellt (siehe Abbildung 5). Hierbei zeigte sich nicht wie in der Vorstudie und deshalb auch hier in beiden Abrufen erwartet ein U-förmiges Muster (aufgrund geringerer Erkundungszeiten der Gesichter an den Positionen OD und RS) sondern ein tendenziell entgegengesetztes Muster. Beide Abrufe wurden verglichen, da nach dem ersten impliziten Abruf auch der erste explizite Abruf erfolgt war und die Frage bestand, ob dieser den zweiten impliziten Abruf verändern würde.

Im T-Test für verbundene Stichproben ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erkundungszeiten der jeweiligen Gesichterpositionspaare der beiden Abrufe (p -Werte alle $\geq 0,27$).

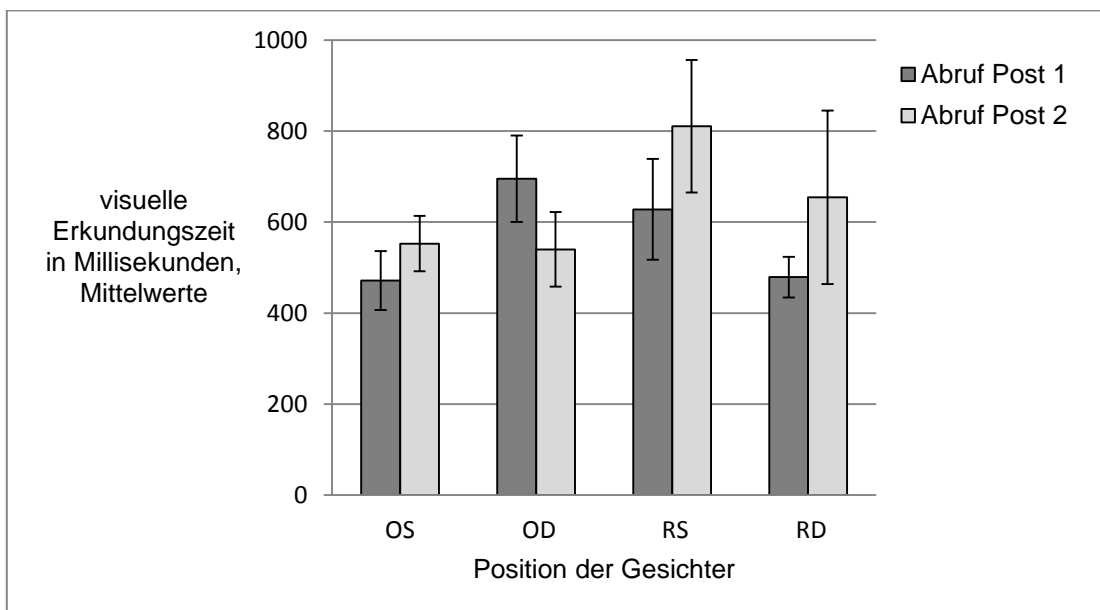


Abbildung 5: Visuelle Erkundungszeiten der Post-Gruppe

Abrufe Post 1 und Post 2 in Mittelwerten \pm SEM für jede der Gesichterpositionen, n = 10

3 Ergebnisse

Weiterhin wurden für beide Abrufe die episodischen, räumlichen und zeitlichen Scores berechnet. Alle Scores wurden mittels T-Test für eine Stichprobe (Testwert = 0) auf Signifikanz überprüft. Hier zeigte sich der episodische Score (-0,14) für den ersten Abruf signifikant ($p = 0,016^*$; $t = -2,958$; $df 9$). Die übrigen Scores waren nicht signifikant (alle p -Werte $\geq 0,26$). Im Vergleich der beiden Abrufe ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede für die Scores (p -Werte alle $\geq 0,25$).

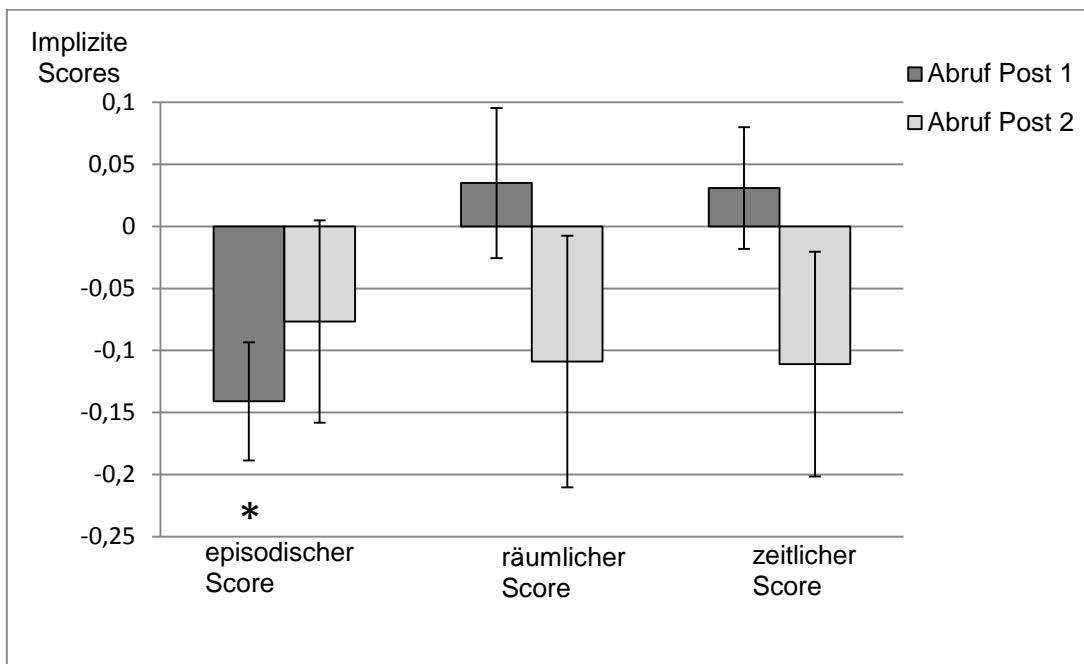


Abbildung 6: Implizite Scores der Gruppe Post

Episodischer, räumlicher und zeitlicher Score in Mittelwerten \pm SEM für beide Abrufe der Gruppe Post (n = 10)

3 Ergebnisse

3.2.2 Implizite Abrufe der Pre-Post-Gruppe

Die Pre-Post –Gruppe zeigte im Pre-Abruf, also vor dem Schlafen kein eindeutiges Muster, dies war auch so erwartet. Im Abruf nach dem Schlafen (Post) zeigte sich zwar ein verändertes Muster, jedoch auch hier nicht die erwartete U-Form (siehe Abbildung 7, längere Erkundungszeit für RS). T-Tests für verbundenen Stichproben ergaben für die jeweiligen Erkundungszeiten der Gesichter keine signifikanten Unterschiede zwischen den Abrufen (p-Werte alle $\geq 0,22$).

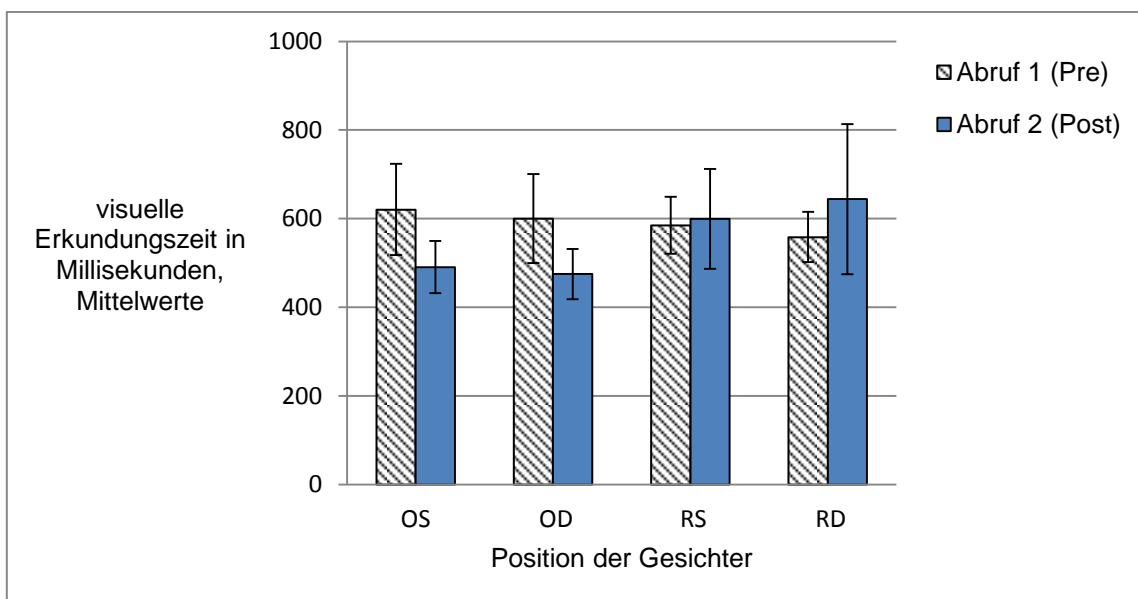


Abbildung 7: Visuelle Erkundungszeiten der Gruppe Pre-Post

Abrufe 1 und 2 in Mittelwerten \pm SEM für jede der Gesichterpositionen, n = 14

Auch für diese Gruppe wurden für beide Abrufe episodische, räumliche und zeitliche Scores berechnet (siehe Abbildung 8). Diese lagen für den Abruf Pre bei 0,006 (episodischer Score), -0,26 (räumlicher Score) und 0,02 (zeitlicher Score). Für den Abruf Post ergaben sich 0,01 (episodischer Score), 0,00 (räumlicher Score) und -0,08 (zeitlicher Score). T-Tests gegen Null ergaben für keinen der Scores eine Signifikanz (p-Werte alle $\geq 0,31$). Auch ein Vergleich der Scores zwischen erstem und zweitem Abruf blieb ohne Signifikanz (p-Werte alle $\geq 0,34$).

3 Ergebnisse

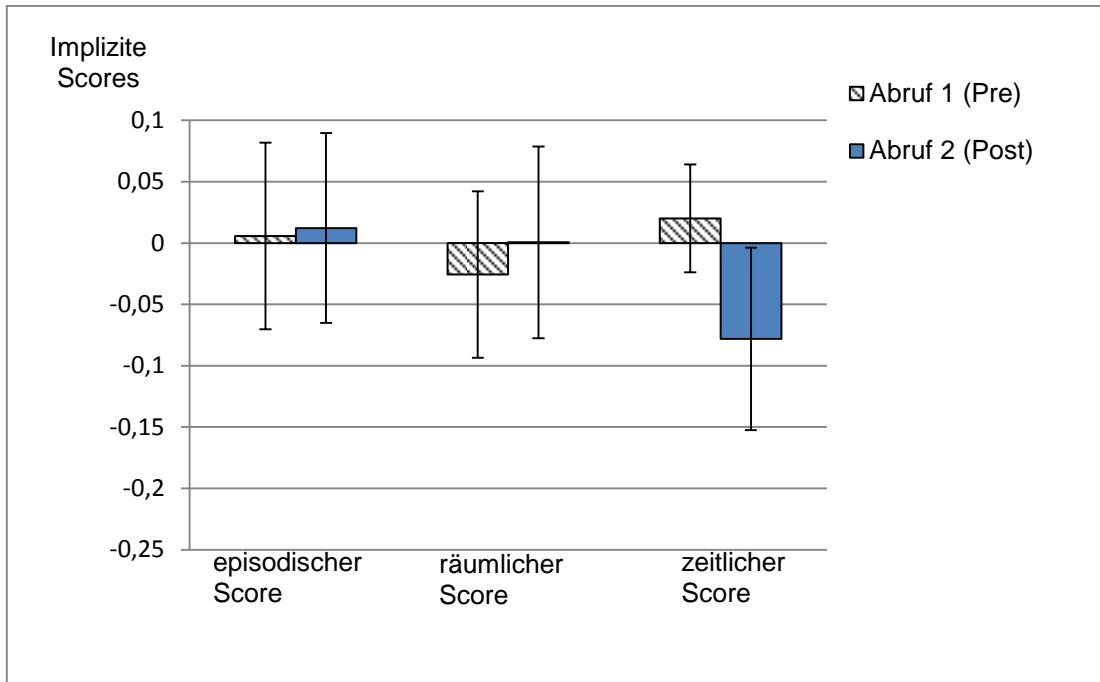


Abbildung 8: Implizite Scores der Gruppe Pre-Post

Episodischer, räumlicher und zeitlicher Score in Mittelwerten \pm SEM für beide Abrufe der Gruppe Pre-Post (n = 14)

3.2.2.1 Vergleich der impliziten Abrufe in Subgruppen der Pre-Post-Gruppe

Aufgrund von Anpassungen des Versuchsablaufs war, wie oben vorbeschrieben, nach fünf Probanden der Pre-Post-Gruppe der erste explizite Abruf vor dem Schlafen nicht mehr durchgeführt worden. Die hierdurch entstandenen Subgruppen wurden miteinander verglichen. Zunächst erfolgte innerhalb der Teilgruppe mit dem ersten expliziten Abruf vor dem Schlafen (n = 5) ein Vergleich der Erkundungszeiten für die vier Gesichter, hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 9).

Der episodische Score lag für den ersten Abruf (vor dem Schlaf) bei -0,01 und im zweiten Abruf (nach dem Schlaf) bei 0,24. Eine Signifikanz (Testwert 0) wurde jedoch auch für den zweiten Abruf verfehlt (p-Wert = 0,07), für den Wert vor dem Schlaf ergab sich wie erwartet ebenfalls keine Signifikanz (p-Wert = 0,97). Die weiteren Scores waren ebenfalls nicht signifikant größer als ein zufälliges Ergebnis (p-Werte alle \geq 0,41).

3 Ergebnisse

Der Vergleich der Scores zwischen erstem und zweitem Abruf ergab in dieser Subgruppe keine signifikanten Unterschiede (p alle $\geq 0,23$) (Abbildung 11).

In der Subgruppe ohne erstem expliziten Abruf vor dem Schlaf ($n = 9$) bestanden im Vergleich der visuellen Erkundungszeiten zwischen Abruf 1 (Pre) und Abruf 2 (Post) ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (p -Werte alle $\geq 0,14$) (Abbildung 10). Der episodische Score lag vor dem Schlaf bei 0,01, nach dem Schlaf bei -0,11. Diese waren ebenso wie die räumlichen und zeitlichen Scores nicht signifikant (p -Werte alle $\geq 0,20$). Auch der Vergleich der Scores zwischen erstem und zweitem Abruf innerhalb dieser Subgruppe ergab keine signifikanten Unterschiede ($p \geq 0,30$) (Abbildung 11).

Im Vergleich beider Subgruppen fiel auf, dass in der Gruppe mit explizitem Abruf vor dem Schlaf der episodische Score im zweiten Abruf bei +0,24 und in der Gruppe ohne expliziten Abruf vor dem Schlaf im zweiten Abruf bei -0,11 lag. Ein T-Test für unverbundene Stichproben ergab einen signifikanten Unterschied (p -Wert = 0,022*; $t = 2,642$; $df = 9$). Die weiteren Scores und visuellen Erkundungszeiten (auch für den ersten Abruf) waren nicht signifikant unterschiedlich (p -Werte alle $\geq 0,23$), lediglich der Vergleich der visuellen Erkundungszeiten für das Gesicht an der Position OS ergab für den zweiten Abruf nur knapp keine Signifikanz (p -Wert = 0,06).

3 Ergebnisse

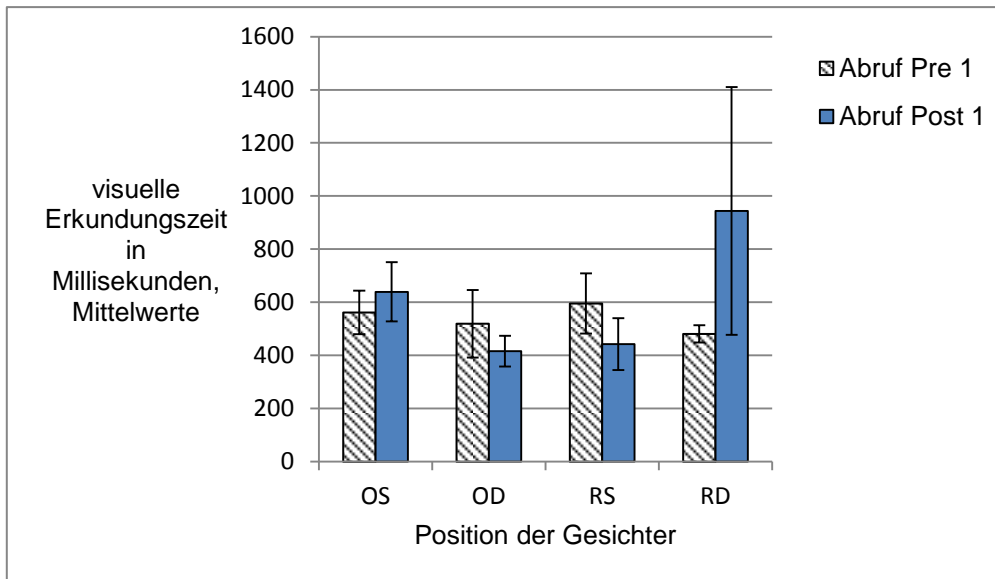


Abbildung 9: Visuelle Erkundungszeiten in der Subgruppe (n = 5)

der Gruppe Pre-Post mit erstem expliziten Abruf in Mittelwerten \pm SEM für jede der Gesichterpositionen

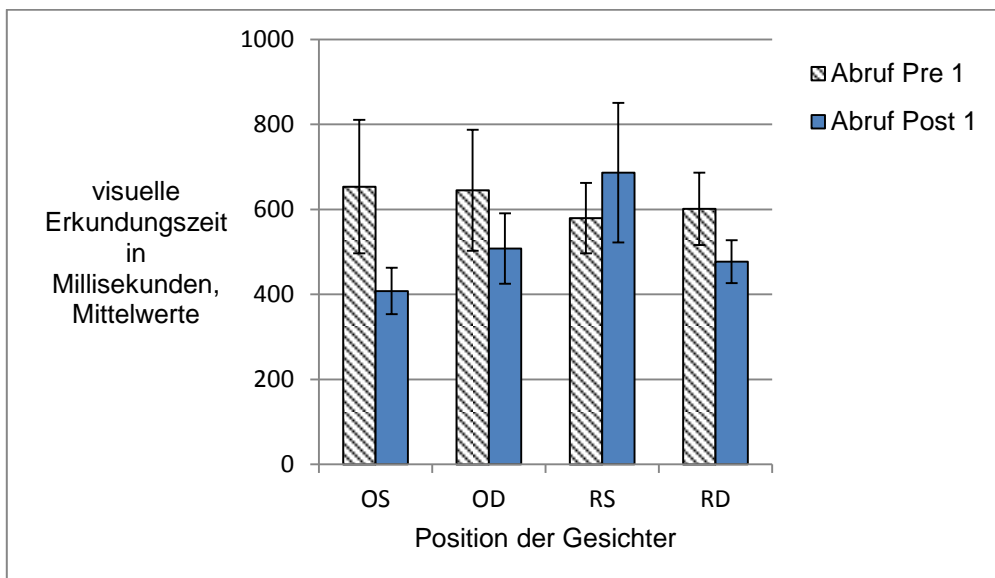


Abbildung 10: Visuelle Erkundungszeiten in der Subgruppe (n = 9)

der Gruppe Pre-Post ohne erstem expliziten Abruf in Mittelwerten \pm SEM für jede der Gesichterpositionen

3 Ergebnisse

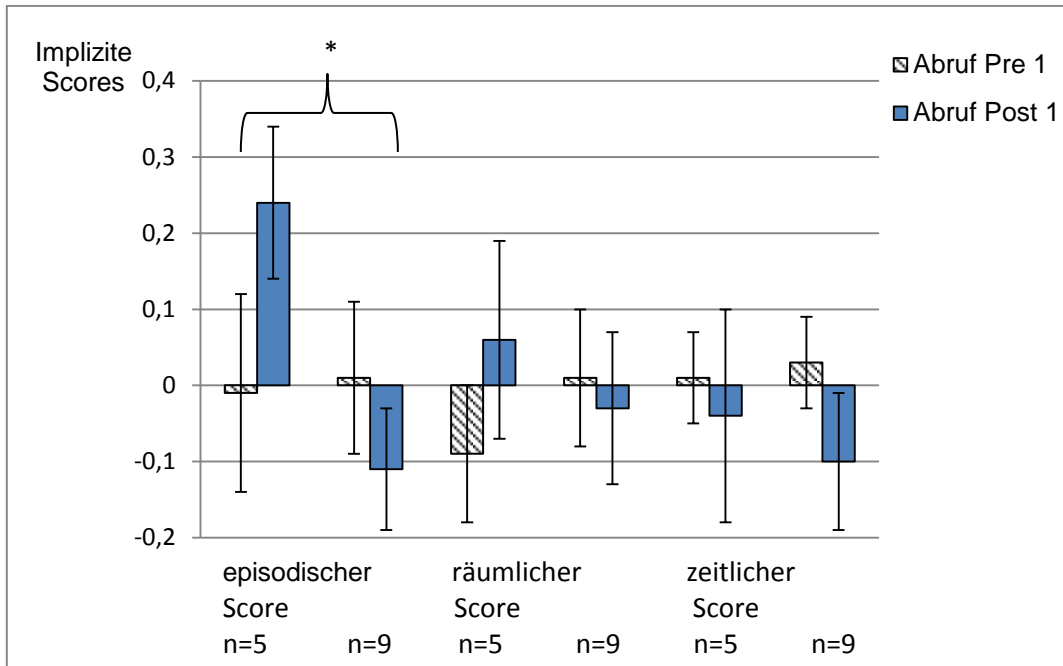


Abbildung 11: Implizite Scores für die Subgruppen der Gruppe Pre-Post

Episodischer, räumlicher und zeitlicher Score in Mittelwerten \pm SEM für jeweils beide Abrufe in der Subgruppe mit erstem expliziten Abruf (n = 5) und in der Subgruppe ohne erstem expliziten Abruf (n = 9), signifikant unterschiedlicher episodischer Score zwischen den Subgruppen im zweiten Abruf

3.2.3 Vergleich der impliziten Abrufe zwischen den Gruppen

T-Tests für unverbundene Stichproben zum Vergleich wurden zunächst für die gesamte Pre-Post-Gruppe im Vergleich mit der Postgruppe durchgeführt. Der Vergleich der jeweils ersten Abrufe der Gruppen (für die Gruppe Post: Abfrage nach dem Schlafen und für die Gruppe Pre-Post: Abfrage vor dem Schlafen) ergab keine signifikanten Unterschiede für Erkundungszeiten und Scores (p -Werte $\geq 0,15$), obwohl dies aufgrund der unterschiedlichen Abfragezeitpunkte vermutet wurde. Ebenso ergab der Vergleich der jeweils zweiten Abrufe (beide nach dem Schlafen) keinen signifikanten Unterschied (p -Werte $\geq 0,26$). Im Vergleich des zweiten Abrufs (Post) der Pre-Post-Gruppe mit dem ersten Abruf der Post-Gruppe ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erkundungszeiten OS, RS, RD und den Scores (p -Werte alle $\geq 0,14$). Jedoch zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Erkundungszeiten für das Gesicht OD ($p = 0,047^*$; $t = -2,108$; $df = 22$).

3 Ergebnisse

3.2.3.1 Vergleiche der impliziten Abrufe in den Subgruppen der Pre-Post-Gruppe mit der Post-Gruppe

Der Vergleich der **jeweils ersten** Abrufe der Gruppe Post (Abruf Post 1) und der Pre-Post-Subgruppe (Abruf Pre 1) mit explizitem Abruf vor dem Schlafen (n = 5) ergab keine signifikanten Unterschiede für die visuellen Erkundungszeiten und die Scores (p-Werte alle $\geq 0,25$). Der Vergleich der **jeweils zweiten** Abrufe zeigte einen signifikanten Unterschied für die episodischen Scores. Dieser lag in der Gruppe Post bei -0,08 und für die Subgruppe Pre-Post n = 5 bei 0,24; p-Wert = 0,035*; t = 2,351; df = 13. Für den Vergleich zwischen dem **zweiten** Abruf (Post) der Subgruppe Pre-Post mit dem **ersten** Abruf (Post 1) der Gruppe Post ergab sich ein signifikanter Unterschied in der visuellen Erkundungszeit für das Gesicht OD. Dieses wurde in der Gruppe Post länger angesehen (p-Wert = 0,027*; t = -2,501; df = 12,932). Außerdem war der episodische Score in der Subgruppe der Pre-Post-Gruppe (0,24) signifikant größer als in der Post-Gruppe (-0,14) (p-Wert = 0,002**; t = 3,964; df = 13).

Die zweite Subgruppe der Pre-Post-Gruppe (n = 9) zeigte im Vergleich der jeweils ersten und zweiten Abrufe mit der Post-Gruppe keine signifikanten Unterschiede. Der Post-Abruf der Subgruppe und der erste Post-Abruf der Post-Gruppe unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant.

3.3 Auswertung der expliziten Abrufe

Die Auswertung der expliziten Abrufe erfolgte für beide Gruppen zunächst getrennt in der Reihenfolge der im Material und Methodenteil vorgestellten Fragen. Insgesamt waren die Ergebnisse für alle Fragen und in beiden Gruppen signifikant besser als das Zufallslevel (Abbildung 12, Abbildung 13).

3.3.1 Explizite Abrufe der Post-Gruppe und der Pre-Post-Gruppe

Zuerst wurde in beiden Gruppen erfasst, wie viele der Gesichter, die in den Episoden vorgekommen waren wiedererkannt wurden. Für die Gruppe Post ergab sich im ersten Abruf ein Mittelwert von 7,70, im zweiten Abruf wurden alle acht Gesichter von allen zehn Probanden korrekt als bekannt gewertet. Die

3 Ergebnisse

Probanden der Pre-Post-Gruppe erreichten einen Mittelwert von 7,60 Gesichter im ersten Abruf ($n = 5$, da nur diese einen expliziten Abruf vor dem Schlaf hatten), im zweiten Abruf ergab sich ein Mittelwert von 7,79 ($n = 14$).

Die weitere Auswertung erfolgte wie im Material- und Methodenteil beschreiben für „Was?“, „Was-Wo?“, „Was-Wann?“ und „Was-Wo-Wann?“. In den Abbildungen wurden die Ergebnisse als Mittelwerte in relativen Zahlen für die einzelnen Fragen dargestellt. Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse der beiden Abrufe der Post-Gruppe. In Abbildung 13 sind die Ergebnisse der fünf Probanden der Pre-Post-Gruppe dargestellt, die zwei explizite Abrufe hatten. Die Ergebnisse des zweiten Abrufs (Post) der gesamten Pre-Post-Gruppe ($n = 14$) im Vergleich zum ersten Abruf der Post-Gruppe ($n = 10$) wurde in Abbildung 14 abgebildet. Alle Ergebnisse wurden auf ihre Zufälligkeit überprüft, es ergab sich jeweils eine deutliche Signifikanz, alle p -Werte waren $< 0,01^{**}$. Weiterhin wurden innerhalb der Gruppen die beiden Abrufe verglichen. Es zeigten sich nur geringe Unterschiede in den Mittelwerten, eine Signifikanz bestand nicht.

In der Gruppe Pre-Post erfolgte außerdem ein Vergleich der Ergebnisse des Postabrufs in den Subgruppen mit Abfrage vor dem Schlaf ($n = 5$) und ohne Abfrage vor dem Schlaf ($n = 9$). Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (p -Werte alle $\geq 0,42$).

Schließlich erfolgte der Vergleich zwischen den Gruppen. Hierfür wurde der erste Abruf der Gruppe Post verwendet, da dieser dem Ablauf in der Pre-post-Gruppe entsprach. Verglichen wurden sowohl die Ergebnisse der Gesamtgruppe Pre-Post mit Post, als auch jeweils die Subgruppen $n = 5$ und $n = 9$ mit der Gruppe Post. Es ergab sich für keine der untersuchten Fragen ein signifikanter Unterschied. Die p -Werte waren alle $\geq 0,37$.

3 Ergebnisse

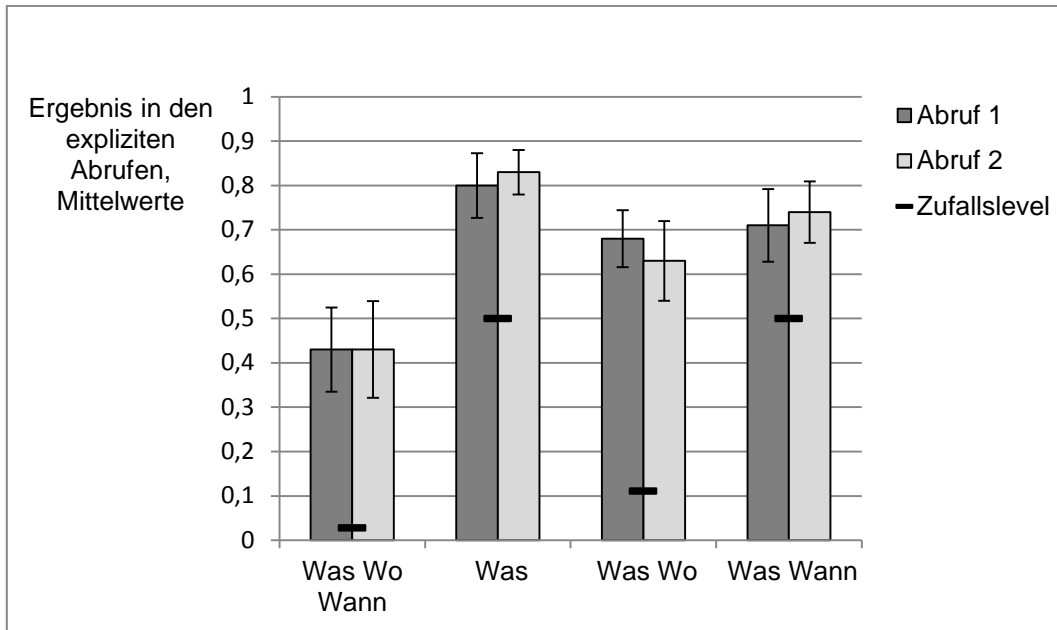


Abbildung 12: Explizite Abrufe in der Gruppe Post

Mittelwerte der relativen Häufigkeiten \pm SEM für das episodische „Was-Wo-Wann“-Gedächtnis und die Subkomponenten „Was“, „Was-Wo“ und „Was-Wann“ in den Abrufen 1 und 2 der Gruppe Post ($n = 10$) mit Angabe der Zufallslevel

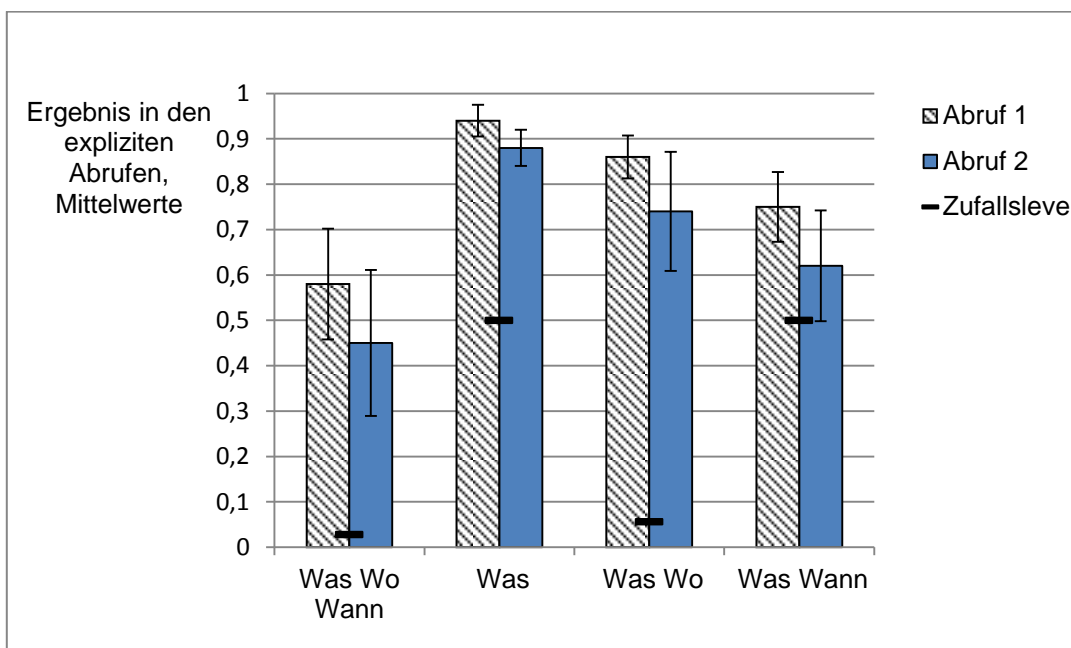


Abbildung 13: Explizite Abrufe in der Gruppe Pre-Post

Mittelwerte der relativen Häufigkeiten \pm SEM für das episodische „Was-Wo-Wann“-Gedächtnis und die Subkomponenten „Was“, „Was-Wo“ und „Was-Wann“ in den Abrufen 1 und 2 der Gruppe Pre-Post ($n = 5$) mit Angabe des Zufallslevels

3 Ergebnisse

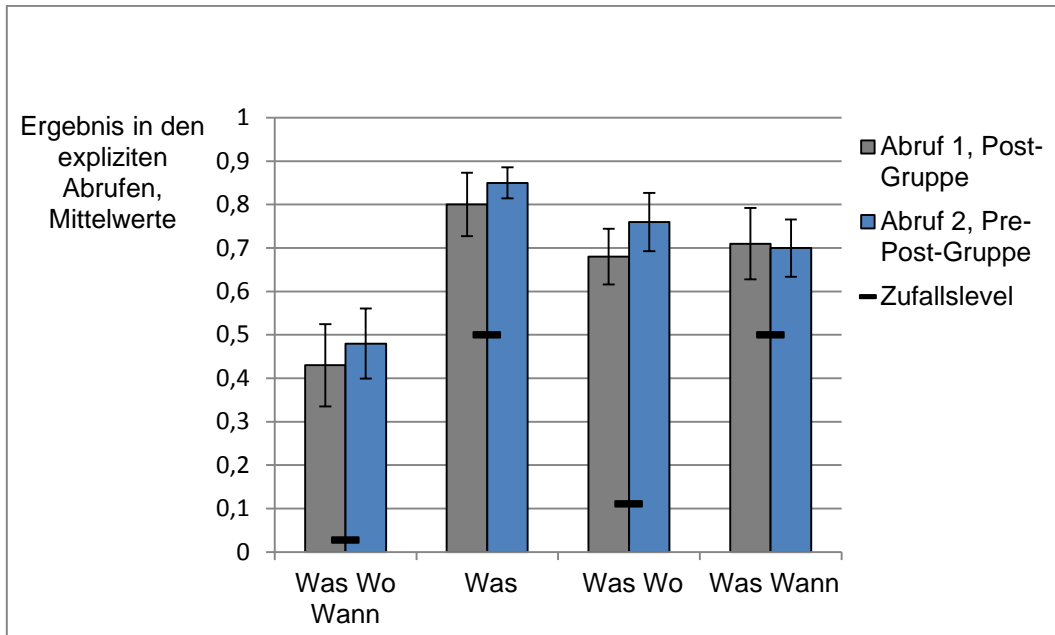


Abbildung 14: Vergleich der expliziten Abrufe nach dem Schlaf

Mittelwerte der relativen Häufigkeiten \pm SEM für das episodische „Was-Wo-Wann“-Gedächtnis und die Subkomponenten „Was“, „Was-Wo“ und „Was-Wann“ in den Abrufen nach dem Schlaf, Abruf Post 1 der Gruppe Post ($n = 10$) und Abruf Post der Gruppe Pre-Post ($n = 14$) mit Angabe der Zufallslevel

3.4 Korrelation der impliziten und expliziten Ergebnisse

Es erfolgte die Berechnung von Pearson-Korrelationen zwischen dem impliziten episodischen Score und dem expliziten „Was-Wo-Wann?“. Für die jeweils ersten und zweiten Abrufe pro Gruppe konnten keine signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden. In der Gruppe Post lag der Wert der Pearson-Korrelation für den ersten Abruf bei $r = +0,49$, p -Wert = $0,15$; für den zweiten Abruf bei $r = -0,21$, p -Wert = $0,56$. In der Gruppe Pre-Post war der Korrelationskoeffizient für den ersten Abruf (vor dem Schlaf, $n = 5$) bei $r = -0,42$, p -Wert = $0,49$; für den zweiten Abruf ($n = 14$) bei $r = -0,18$, p -Wert = $0,54$.

Die Korrelation der impliziten und expliziten Ergebnisse beider ersten Abrufe unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit ergab $r = 0,16$, $p = 0,57$ ($n = 24$ für den episodischen Score, $n = 15$ für „Was-Wo-Wann?“). Für beide zweite Abrufe ergab sich $r = -0,17$, $p = 0,42$ (für den episodischen Score und für „Was-Wo-Wann?“ jeweils $n = 24$). Ebenfalls wurde die Korrelation für alle Post-Abrufe gemeinsam berechnet (Post aus der Pre-Post-Gruppe und Post 1 und Post 2

3 Ergebnisse

aus der Post-Gruppe). Hier ergab sich $r = -0,05$, $p = 0,80$ ($n = 34$). Ergänzend ergab sich für die Post 1-Abrufe aus beiden Gruppen ($n = 24$) $r = 0,026$, $p = 0,90$.

Ein Vergleich der Pearson-Korrelationen der Gruppe Post mit der Gruppe Pre-Post für den ersten Abruf ergab $z = 1,227$, $p = 0,22$. Für den zweiten Abruf ergab sich $z = -0,065$, $p = 0,95$.

3.5 Ergebnisse der Kontrollmessungen

3.5.1 Auswertung der Paired-word-associate memory task

Die Aufgabe diente als Kontrollmessung für das deklarative Gedächtnis, aufgrund der oben erwähnten Anpassungen des Protokollablaufs konnten weitere Fragen zum episodischen Gedächtnis nicht mehr beantwortet werden. Die Zeitpunkte der Abrufe entsprachen nicht mehr vollständig denen der episodischen Gedächtnisaufgaben. Zunächst wurden die korrekt erinnerten Wortpaare für die sofort erfolgte und für die später erfolgte Abfrage ermittelt. Jeweils wurde unterschieden zwischen den Listen eins und zwei, dies wurde innerhalb dieser Auswertung auch für die spätere Abfrage so gehandhabt (die Listen waren hier beide zusammen abgefragt worden). Im Mittel wurden in der sofortigen Abfrage der ersten Liste 22,88 Wortpaare korrekt wiedergegeben (Gruppe Post 22,70), in der späteren Abfrage 21,63 (Gruppe Post 21,20). Die sofortige Abfrage der zweiten Liste ergab im Mittel 25,21 (Gruppe Post 24,7) korrekt genannte Wortpaare, die spätere Abfrage 24,21 (Gruppe Post 23,70). Beide Gruppen zeigten in der sofortigen Abfrage der Liste zwei eine etwas bessere Performance als bei der Abfrage der Liste eins. Entsprechend waren auch die Ergebnisse in der späteren Abfrage in beiden Gruppen für die zweite Liste etwas besser. Signifikante Unterschiede im Vergleich innerhalb der Gruppen zwischen den einzelnen Abfragen zeigten sich jedoch nicht (Vergleich der Ergebnisse der korrekten Wortpaare der Liste eins mit den korrekten Wortpaaren der Liste zwei in der sofortigen Abfrage und korrekte Wortpaare der Liste eins mit den korrekten Wortpaaren der Liste zwei in der späteren Abfrage, sowie der Vergleich zwischen sofortiger und späterer Abfrage der jeweiligen

3 Ergebnisse

Liste). Auch der Vergleich zwischen den Gruppen ergab wie erwartet keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 3).

Der Vergleich mit dem Zufallslevel (0,5 = 20 korrekte Wortpaare) ergab für die Gruppe Post keine Signifikanzen, für die Gruppe Pre-Post waren die korrekt genannten Wortpaare der Liste zwei in der sofortigen ($p = 0,006^{**}$; $t = 3,311$; $df = 13$), ebenso wie in der späteren Abfrage ($p = 0,027^{*}$; $t = 2,490$; $df = 13$) signifikant über dem Zufallslevel (siehe Tabelle 4).

Weiterhin erfolgten Korrelationen der individuellen Ergebnisse der Probanden der sofortigen Abfrage und der späteren Abfrage beider Listen. Diese waren wie erwartet signifikant (in der Gruppe Pre-Post für die Liste eins: $p = 0,000^{***}$; $r = 0,907$; für die Liste 2: $p = 0,000^{***}$; $r = 0,956$ und in der Gruppe Post für die Liste eins: $p = 0,000^{***}$; $r = 0,972$; für die Liste 2: $p = 0,000^{***}$; $r = 0,957$) (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

Zudem wurde in der späteren Abfrage die korrekte Zuordnung der Wortpaare zu der Liste eins oder zwei, in der sie gelernt worden waren, ermittelt (unabhängig davon ob das Wortpaar korrekt genannt worden war), ebenso wie die Anzahl der korrekt erinnerten Wortpaare für die auch die korrekte Listenzuordnung genannt werden konnte. Der Mittelwert für die korrekte Zuordnung der Wortpaare zu Liste eins betrug 26,63 (Post 26,30) und für die Liste zwei 24,50 (Gruppe Post 24,80). Innerhalb der beiden Gruppen fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Listen. Ebenso bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Gruppen. Der Vergleich mit dem Zufall (Auswahl Liste eins oder zwei = 50%) zeigte für beide Gruppen signifikante Leistungen in der Listenzuordnung für beide Listen (siehe Tabelle 4). In der Gruppe Post lag der p-Wert für die korrekte Zuordnung zu Liste eins bei $0,000^{***}$; $t = 5,595$; $df = 9$; für die Liste zwei bei $p = 0,006^{**}$; $t = 3,627$; $df = 9$. In der Gruppe Pre-Post lag der p-Wert für die korrekte Zuordnung zu Liste eins bei $0,001^{**}$; $t = 4,027$; $df = 13$; für die Liste zwei bei $p = 0,003^{**}$; $t = 3,594$; $df = 13$.

Der Mittelwert für die sowohl richtig erinnerten Wortpaare als auch die richtige Zuordnung zu der Liste lag für die Liste eins bei 14,10 (Gruppe Post 13,10) und

3 Ergebnisse

für die Liste zwei bei 17,38 (Gruppe Post 17,00). Auch hier fanden sich innerhalb der Gruppen keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Listen und keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zwischen den Gruppen. Als Zufallslevel wurde 25% festgelegt (korrekte Wortpaare und korrekte Listenauswahl), hier zeigten sich die Ergebnisse der Gruppe Post nur für die zweite Liste signifikant ($p = 0,007^{**}$; $t = 3,452$; $df = 9$); die Ergebnisse der Gruppe Pre-Post waren für beide Listen signifikant (Liste eins: $p = 0,005^{**}$; $t = 3,331$; $df = 13$; Liste zwei: $p = 0,001^{**}$; $t = 4,360$; $df = 13$) (siehe Tabelle 5).

Tabelle 3: PAL, Vergleich zwischen den Gruppen

Angaben in absolute Zahlen der Wortpaare \pm SEM und p-Werte für den Vergleich zwischen den Gruppen Post und Pre-Post

	Post	Pre-Post	p-Werte
korrekte Wortpaare Liste 1, sofortige Abfrage	22,70 \pm 2,87	23,00 \pm 1,61	0,92
Korrekte Wortpaare Liste 2, sofortige Abfrage	24,70 \pm 2,55	25,57 \pm 1,68	0,77
korrekte Wortpaare Liste 1, spätere Abfrage	21,20 \pm 2,91	21,93 \pm 1,73	0,82
korrekte Wortpaare Liste 2, spätere Abfrage	23,70 \pm 2,62	24,57 \pm 1,84	0,78
korrekte Zuordnung zu Liste 1	26,30 \pm 1,13	26,86 \pm 1,70	0,81
korrekte Zuordnung zu Liste 2	24,80 \pm 1,32	24,29 \pm 1,19	0,78
korrektes Wortpaar UND richtige Zuordnung zu Liste 1	13,10 \pm 2,50	15,00 \pm 1,50	0,50
korrektes Wortpaar UND richtige Zuordnung zu Liste 2	17,00 \pm 2,03	17,64 \pm 1,75	0,81

3 Ergebnisse

**Tabelle 4: PAL, Vergleich der korrekten Wortpaare mit dem Zufallslevel
Angaben für das Zufallslevel 0,5; p-Werte**

	Post	Pre-Post
korrekte Wortpaare Liste 1, sofortige Abfrage	0,37	0,09
korrekte Wortpaare Liste 2, sofortige Abfrage	0,10	0,006**
korrekte Wortpaare Liste 1, spätere Abfrage	0,69	0,29
korrekte Wortpaare Liste 2, spätere Abfrage	0,19	0,027*
korrekte Zuordnung zu Liste 1	0,000***	0,001**
korrekte Zuordnung zu Liste 2	0,006**	0,003**

**Tabelle 5: PAL, Vergleich der korrekten Wortpaare und richtiger
Listenzuordnungen mit dem Zufallslevel**

Angaben für das Zufallslevel 0,25; p-Werte

	Post	Pre-Post
korrektes Wortpaar UND richtige Zuordnung zu Liste 1	0,25	0,005**
korrektes Wortpaar UND richtige Zuordnung zu Liste 2	0,007**	0,001**

Tabelle 6: PAL, Vergleiche der beiden Listen innerhalb der Gruppen

Angabe der p-Werte

	Post	Pre-Post
korrekte Wortpaare, sofortige Abfrage, Liste 1 versus Liste 2	0,17	0,11
korrekte Wortpaare, spätere Abfrage, Liste 1 versus Liste 2	0,23	0,10
korrekte Wortpaare Liste 1, sofortige versus spätere Abfrage	0,06	0,17
korrekte Wortpaare Liste 2, sofortige versus spätere Abfrage	0,22	0,09
korrekte Zuordnung zu Liste 1 versus Liste 2	0,47	0,26
korrekte Wortpaare UND richtige Zuordnung zu Liste 1 versus Liste 2	0,21	0,14

3 Ergebnisse

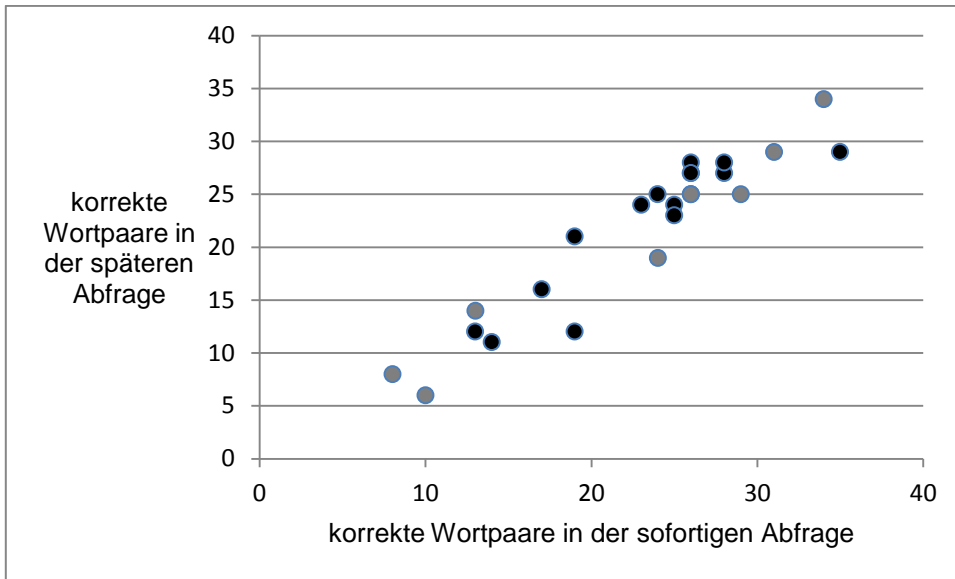


Abbildung 15: PAL, Individuelle Ergebnisse der Probanden, Anzahl der korrekt genannten Wortpaare in sofortiger und späterer Abfrage, Liste 1

Legende: graue Punkte = Post, schwarze Punkte = Pre-Post, teilweise Doppelungen, n = 24

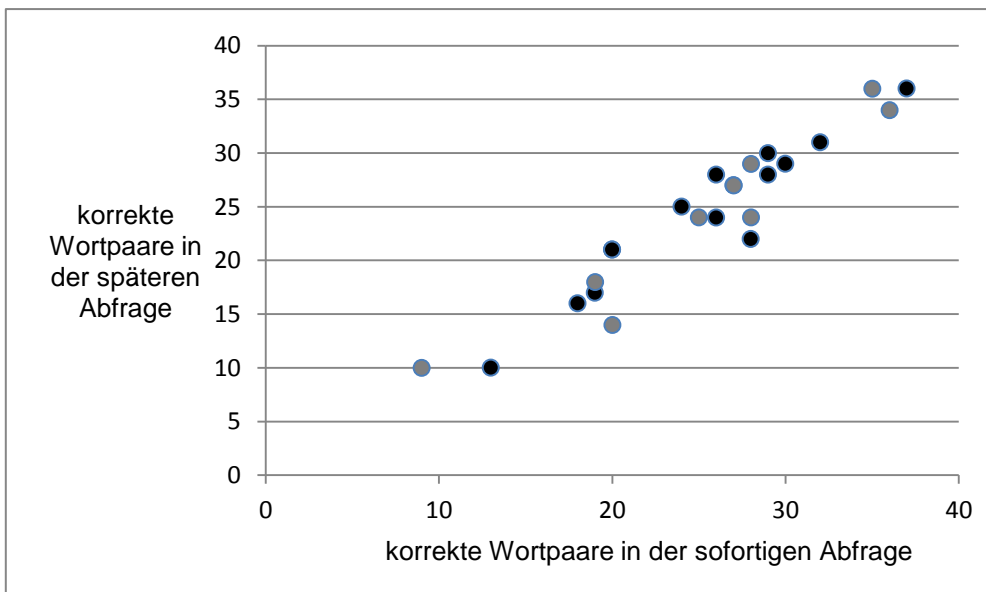


Abbildung 16: PAL, Individuelle Ergebnisse der Probanden, Anzahl der korrekt genannten Wortpaare in sofortiger und späterer Abfrage, Liste 2

Legende: graue Punkte = Post, schwarze Punkte = Pre-Post, teilweise Doppelungen, n = 24

3 Ergebnisse

3.5.2 Auswertung der Positive Affect Negative Affect Scale

Von einem Probanden der Gruppe Post fehlten die Angaben des PANAS im Abruf 1, diese wurden in der Auswertung als fehlend berücksichtigt. Im Vergleich der beiden Gruppen zu den jeweiligen Abfragezeitpunkten ergaben sich in der PANAS keine signifikanten Unterschiede (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: PANAS, Vergleich zwischen den Gruppen

Angaben in Mittelwerten \pm SEM, p-Werte für die Vergleiche zwischen den Gruppen

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)	p-Wert
Vor Enkodierung 1			
Positiver Affekt	2,75 \pm 0,07	2,62 \pm 0,21	0,57
Negativer Affekt	1,21 \pm 0,11	1,11 \pm 0,03	0,30
Vor Enkodierung 2			
Positiver Affekt	2,59 \pm 0,14	2,64 \pm 0,28	0,87
Negativer Affekt	1,09 \pm 0,59	1,04 \pm 0,23	0,41
Vor Abfrage 1			
Positiver Affekt	2,49 \pm 0,18	2,01 \pm 0,20	0,11
Negativer Affekt	1,14 \pm 0,06	1,08 \pm 0,03	0,35
Vor Abfrage 2			
Positiver Affekt	2,52 \pm 0,20	2,42 \pm 0,22	0,75
Negativer Affekt	1,10 \pm 0,07	1,10 \pm 0,03	1,00

Der Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten je Gruppe (Tabelle 8) ergab in der Gruppe Post keinen signifikanten Unterschied, allerdings knapp zwischen den Abfragen vor den Enkodierungen eins und zwei, lediglich den negativen Affekt betreffend. In der Gruppe Pre-Post zeigten sich signifikante Unterschiede im negativen Affekt zwischen Enkodierung eins und zwei ($p = 0,02^*$; $t = 2,590$; $df = 13$) und im Vergleich zwischen Enkodierung zwei und Abruf 2 ($p = 0,040^*$; $t = -2,280$; $df = 13$). Den positiven Affekt betreffend zeigte sich ein signifikanter Unterschied nur zwischen Enkodierung eins und Abruf eins ($p = 0,000^{***}$; $t = 5,486$; $df = 13$).

3 Ergebnisse

Tabelle 8: PANAS, Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten je Gruppe

Angabe der p-Werte

	Enkodierung 1 und 2	Enkodierung 1 und Abruf 1	Enkodierung 2 und Abruf 2	Abruf 1 und 2
Post				
Positiver Affekt	0,20	0,13	0,66	0,42
Negativer Affekt	0,05	0,39	0,59	0,62
Pre-Post				
Positiver Affekt	0,90	0,000***	0,42	0,06
Negativer Affekt	0,022*	0,39	0,040*	0,46

3 Ergebnisse

3.5.3 Auswertung der Stanford Sleepiness Scale

Die Auswertung der Angaben in der Stanford Sleepiness Scale zu den verschiedenen Abfragezeitpunkten ergab zwischen den Gruppen einen signifikanten Unterschied zum Zeitpunkt des ersten Abrufs ($p = 0,003^{**}$; $t = 3,370$; $df = 22$). In der Post-Gruppe (3,2) lag dieser Abruf nach dem Schlaf, in der Pre-Post-Gruppe noch vor dem Schlafen (4,5).

Der Vergleich der Abfragezeitpunkte innerhalb der Gruppen zeigte in der Post-Gruppe einen signifikanten Unterschied zwischen den Abfragezeitpunkten Abruf 1 und Abruf 2, die Probanden gaben vor Abruf 1 eine größere Müdigkeit (3,20) als vor Abruf 2 (2,70) an ($p = 0,015^*$; $t = 3,000$; $df = 9$).

Auch innerhalb der Pre-Post-Gruppe ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Abfragen vor Enkodierung 1 (3,07) und Abruf 1 (4,50) ($p = 0,000^{***}$; $t = -4,616$; $df = 13$), sowie zwischen den Abfragen vor Abruf 1 (4,50) und 2 (2,93) ($p = 0,001^{**}$; $t = 4,048$; $df = 13$).

Tabelle 9: Stanford Sleepiness Scale, Vergleich zwischen den Gruppen

Angaben in Mittelwerten der angegebenen Schläfrigkeit \pm SEM

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)	p-Wert
vor Enkodierung 1	2,70 \pm 0,21	3,07 \pm 0,27	0,32
vor Enkodierung 2	2,90 \pm 0,23	3,29 \pm 0,29	0,34
vor Abfrage 1	3,20 \pm 0,33	4,50 \pm 0,23	0,003**
vor Abfrage 2	2,70 \pm 0,26	2,93 \pm 0,32	0,61

Tabelle 10: Stanford Sleepiness Scale, Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten je Gruppe

Angabe der p-Werte

	Enkodierung 1 und 2	Enkodierung 1 und Abruf 1	Enkodierung 2 und Abruf 2	Abruf 1 und 2
Post	0,44	0,27	0,44	0,015*
Pre-Post	0,49	0,000***	0,40	0,001**

3 Ergebnisse

3.5.4 Auswertung des Psychomotor Vigilance Task 10

Der Vergleich der Reaktionszeiten ergab für die beiden Gruppen Post und Pre-Post zu den verschiedenen Testzeitpunkten keine signifikanten Unterschiede. Innerhalb der Gruppen ergab ein Vergleich zwischen den verschiedenen Testzeitpunkten signifikante Unterschiede in der Gruppe Pre-Post im Vergleich der PVT vor Enkodierung 1 und Enkodierung 2, sowie im Vergleich zwischen der PVT vor der Enkodierung 1 und der Abfrage 1.

Tabelle 11: PVT 10, Vergleich zwischen den Gruppen

Angaben in Millisekunden \pm SEM, p-Werte für die Vergleiche zwischen den Gruppen

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)	p-Wert
vor Enkodierung 1	316,84 \pm 13,23	304,81 \pm 9,37	0,45
vor Enkodierung 2	320,32 \pm 12,46	326,72 \pm 12,11	0,72
vor Abfrage 1	325,70 \pm 13,01	335,20 \pm 11,46	0,59
vor Abfrage 2	323,45 \pm 12,44	317,04 \pm 11,23	0,71

Tabelle 12: PVT 10, Vergleich zwischen den Testzeitpunkten je Gruppe

Angabe der p-Werte

	Enkodierung 1 und 2	Enkodierung 1 und Abruf 1	Enkodierung 2 und Abruf 2	Abruf 1 und 2
Post	0,66	0,26	0,86	0,90
Pre-Post	0,004**	0,000***	0,65	0,35

3 Ergebnisse

3.5.5 Ergebnisse Fragebogen Nachtschlafqualität

Alle Probanden hatten angegeben, geschlafen zu haben. Dies hatte sich durch die Auswertung der Polysomnografie bestätigt. Die geschätzte Schlafdauer wurde von den Probanden der Post-Gruppe mit 438 Minuten (7,3 Stunden) angegeben, von der Pre-Post-Gruppe mit 433,8 Minuten (7,23 Stunden). In der Referenznacht schätzte die Gruppe Post 396 Minuten (6,6h), die Gruppe Pre-Post 420 Minuten (7,0h).

Bezüglich der Müdigkeit fanden sich keine wesentlichen Unterschiede in den Angaben (siehe Tabelle 13). Bis auf fünf Probanden der Gruppe Pre-Post hatten alle Probanden vor dem Schlafen ähnlich anstrengende Aufgaben zu bewältigen. Da die Probanden auch in der Referenznacht angaben, eher müde zu sein, scheint die Ursache eher im individuellen Tagesablauf außerhalb des Versuchs zu liegen.

Tabelle 13: Nachtschlafqualität, Müdigkeit vor dem Schlaf

Gegenüberstellung der Gruppen Post (n = 10) und Pre-Post (n = 14)

	Post/Pre-Post				
	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
Experimentalnacht	0/0	0/0	5/0	3/6	2/8
Referenznacht	0/0	0/2	4/1	4/7	2/4

Die Dauer nach dem Lichtausschalten bis zum Einschlafen schätzte die Post-Gruppe mit 23 Minuten (Referenznacht: 22,6 Minuten), die Pre-Post-Gruppe mit 11,86 Minuten (Referenznacht: 15,8 Minuten). Die Probanden der Post-Gruppe, die vor dem vereinbarten Weckzeitpunkt aufgewacht waren, schätzten die Zeitdauer bis dahin mit 6,3 Minuten (Referenznacht: 21,2 Minuten), die Probanden der Pre-Post-Gruppe mit 9,1 Minuten (Referenznacht: 7,4 Minuten). Während des Einschlafens gaben drei Probanden plötzliche Bildeindrücke an (Referenznacht: je ein Proband), Muskelzuckungen hatten zwei Probanden der bemerkt (ebenso in der Referenznacht). Insgesamt wurde der Schlaf in der Experimentalnacht von allen (außer von einer Probandin der Gruppe Pre-Post) als mindestens mittelmäßig gut oder besser eingestuft.

3 Ergebnisse

Ein zwischenzeitliches Erwachen hatten in der Post-Gruppe alle Probanden bejaht, als Mittelwert ergaben sich 2,4 Mal (Referenznacht: 3 Mal), in der Pre-Post-Gruppe lag der Mittelwert bei 2,64 Mal (Referenznacht: 2,7 Mal), zwei der Probanden hatten angegeben nicht aufgewacht zu sein. Von den Probanden, die nachts aufgewacht waren, gab die Mehrheit an automatisch aufgewacht zu sein, fünf Probanden hatten Geräusche gehört, einen hatten die Kabel des EEG gestört. Im Mittel schätzte die Pre-Post-Gruppe die Wachzeit mit 7,6 Minuten (Referenznacht: 6,69 Minuten), die Post-Gruppe mit 3,1 Minuten (Referenznacht: 6,55 Minuten).

Als Ursache für das Aufwachen am nächsten Morgen gaben sechs Probanden der Pre-Post-Gruppe und ein Proband der Post-Gruppe an, von selbst erwacht zu sein, fünf Probanden der Pre-Post-Gruppe und acht Probanden der Post-Gruppe waren vom Versuchsleiter geweckt worden. Die restlichen vier Probanden waren aufgrund von Geräuschen oder Harndrang erwacht. In der Referenznacht waren alle Probanden entweder von alleine oder durch den Versuchsleiter geweckt worden.

Die Frage, ob die Probanden geträumt hatten wurde in der Post-Gruppe von acht Probanden mit „ja“ beantwortet (ebenso in der Referenznacht), in der Pre-Post-Gruppe von 12 (Referenznacht: 11). In jeder Gruppe hatten je zwei Probanden eher angenehm oder unangenehm geträumt, die restlichen hatten neutrale Inhalte angegeben.

Als Begründung für eine Einschlafzeit länger als zehn Minuten gaben die betreffenden Probanden entweder die ungewohnte Umgebung oder die Tagesereignisse an, durch Geräusche gestört fühlte sich keiner.

Zur Einschätzung, ob sich die Probanden am nächsten Morgen ausgeschlafen fühlten siehe Tabelle 14. Es zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den Gruppen und den verschiedenen Nächten.

3 Ergebnisse

**Tabelle 14: Nachtschlafqualität, Gefühl des Ausgeschlafenseins am Morgen
Gegenüberstellung der Gruppen Post (n = 10) und Pre-Post (n = 14)**

	Post/Pre-Post				
	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
Experimentalnacht	1/1	4/3	5/6	0/2	0/2
Referenznacht	0/2	3/1	4/8	3/3	0/0

3.5.6 Ergebnisse Nachbefragung

Der gesamte Fragebogen mit den detaillierten Antworten der Probanden befindet sich im Anhang. Zusammenfassend ging daraus hervor, dass alle Probanden aufgrund des Versuchsaufbaus davon ausgingen, dass sie sich Details der Aufgaben merken sollten. Die Meisten hatten versucht, sich die Gesichter an sich, oder deren Position mit verschiedenen Merkstrategien einzuprägen. Einige Probanden hatten bemerkt, dass das Auftauchen/Verschwinden der Gesichter damit zusammenhing, ob sie sie angesehen hatten.

3.5.7 Auswertung der Kontrollmessungen der Habituationsnacht

Die unten stehende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Kontrollmessungen. Die beiden Gruppen hatten hier kaum Unterschiede gezeigt.

Tabelle 15: Ergebnisse der Kontrollmessungen der Habituationsnacht

Angaben für den Visus in Mittelwerten der Dezimalen, für den Digit Span in Mittelwerten der absoluten Zahlen, für das dominante Auge rechts oder links

	Post (n = 10)	Pre-Post (n = 14)
Visus (Mittelwert)	1,36	1,48
Dominantes Auge	rechts: fünf Probanden	rechts: zehn Probanden
Digit Span (Mittelwert)	6,1	6,0

3 Ergebnisse

3.5.7.1 Auswertung der Actiwatch

Ein Proband gab an, vor Versuchsantritt in der Experimentalnacht eine Stunde geschlafen zu haben (bestätigt durch Aktigrafie), er wurde aber nicht vom Experiment ausgeschlossen.

4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war zunächst, zu beantworten, ob die Ergebnisse der Vorstudie (Weber et al., 2014) repliziert werden können. Die Probanden hatten dort nach einem zehnstündigen Retentionsintervall mit acht Stunden Nachtschlaf einen signifikant positiven episodischen Score gezeigt, also eine deutliche Interaktion zwischen räumlichen und zeitlichen Aspekten einer zuvor implizit (unbewusst) enkodierten Aufgabe. Diese Interaktion stellte sich grafisch dar als U-förmiges Muster in der visuellen Erkundungszeit von Gesichtern. Es bestanden deutlich kürzere Erkundungszeiten für Gesichter, die schon länger bekannt waren und nun an einem anderen Ort gezeigt wurden als in der Lernphase (OD), als für die übrigen Gesichter. Bei getrennter Testung der vier Eigenschaften „schon länger bekanntes Objekt, (O)“, „weniger lange bekanntes Objekt, (R)“, „stationäres Objekt (S)“ und „verschobenes Objekt (D)“ werden eigentlich ausgerechnet Gesichter mit den Eigenschaften O oder D länger angesehen, als die beiden anderen. Für das Gesicht RD zeigte sich hingegen eine deutlich längere Erkundungszeit, als erwartet. In der Wach-Kontrollgruppe hatte sich diese Interaktion nicht nachweisen lassen. Deshalb wurde vermutet, dass die Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlich-zeitlichen Kontext, also wann und wo diese Erinnerung stattgefunden hat, wesentlich durch Schlaf gefördert wird.

Zudem diente die vorliegende Arbeit dazu, zu prüfen, wie sich über eine Nacht Schlaf das episodische Gedächtnis verändert, indem an einer weiteren Probandengruppe sowohl vor als auch nach dem Schlaf die verschiedenen Abfragen durchgeführt wurden (in der Vorstudie hatte dieser Vergleich gefehlt). Die Studie beinhaltete weitere Fragestellungen, die jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

4 Diskussion

Negativer episodischer Score im Replikationsversuch der Vorstudie

Zur Überprüfung der ersten Hypothese wurden die Ergebnisse der Post-Gruppe ausgewertet. In der grafischen Darstellung der Erkundungszeiten im ersten impliziten Abruf zeigte sich nicht wie erwartet ein U-förmiges Muster mit kürzeren Erkundungszeiten für die Gesichter an den Positionen OD und RS, sondern ein entgegengesetztes Muster und damit eher dem Muster der Wachkontrollgruppe der Vorstudie (deren Ergebnisse jedoch nicht signifikant waren) entsprechend. Dies äußerte sich folglich in einem zwar signifikanten, jedoch negativen episodischen Score. Der zweite implizite Abruf zeigte wiederum ein anderes Muster mit der längsten Erkundungszeit für das Gesicht RS, welches in der Vorstudie in der Schlafgruppe am kürzesten betrachtet wurde. Die Tendenz des episodischen Scores war ebenfalls negativ, eine Signifikanz bestand nicht. Im Vergleich der beiden Abrufe ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erkundungszeiten der Gesichter. Möglicherweise sind die Unterschiede hier durch die geringe Gruppengröße von zehn Probanden begründet.

Weiterhin ist zu überlegen, ob in der Vorstudie die erste Episode stärker enkodiert wurde als die zweite und in der vorliegenden Untersuchung dies gegensätzlich war, was sich dann in einem negativen episodischen Score ausdrückt. Es wäre denkbar, dass in der Vorstudie die erste Episode besser enkodiert wurde, weil sie das erste Erlebnis dieser Art darstellt und der Versuchsablauf neu war, während die zweite Episode ebenso ablief wie die erste und daher weniger interessant war. In einer Studie von Holland und Smulders (Holland & Smulders, 2011) zum episodischen Gedächtnis, welche auch das WWW-Paradigma verwendete, war ebenfalls die erste Episode besser enkodiert worden. Unter anderem wurde eine Interferenz zwischen beiden Episoden diskutiert, da jeweils die Lernumgebung dieselbe war. Es war jedoch nicht zu mehr fehlerhaften zeitlichen Zuordnungen der Episoden gekommen, weshalb diese Erklärung unwahrscheinlich schien. Hier waren die Episoden auf zwei aufeinander folgende Tage verteilt, sodass auch ein positiver Effekt durch die längere Konsolidierungsphase während zweier Nächte Schlaf

4 Diskussion

für die erste Episode in Betracht gezogen wurde. Weiterhin schlugen die Autoren als Ursache vor, dass die zweite Episode die Erinnerung an die erste Episode verstärken könnte, da diese noch einmal aktiviert und durchdacht wird.

Als Erklärung für eine stärkere Enkodierung der *zweiten* Episode wäre denkbar, dass die Aufmerksamkeit erhöht wurde, gerade weil erneut eine Episode mit Gesichtern gezeigt wurde (Atkinson & Shiffrin, 1971). Einige Probanden hatten in der Nachbefragung angegeben, aufgrund des häufigen Auftauchens der Gesichterkonfigurationen, mit einer Aufgabe zur Merkfähigkeit gerechnet zu haben. Warum jedoch einmal die erste Episode besser enkodiert wurde und einmal die zweite, bleibt aktuell offen. Ein Unterschied im Versuchsablauf bestand nur insofern, dass in der Vorstudie die Probanden der Gruppe Post eine Stunde später einbestellt worden waren als in der vorliegenden Studie. Das Probandenkollektiv war das gleiche.

Die Probanden hatten wie in der Vorstudie ein normales Schlafverhalten sowohl in der Experimental- als auch in der Referenznacht gezeigt, sodass das Ergebnis dieser Studie nicht durch ein anderes Schlafverhalten erklärt werden kann. Insbesondere der SWS spielt eine wichtige Rolle bei der Konsolidierung von hippocampus-abhängigem Gedächtnis (Marshall, Helgadóttir, Mölle, & Born, 2006; Ngo et al., 2013). Dieser war bei allen Probanden in normalem Ausmaß vorhanden.

Die Ergebnisse der expliziten Abfragen waren wie in der Vorstudie signifikant besser als das Zufallslevel, zwischen den beiden Abfragen bestand kein signifikanter Unterschied. Im zweiten Abruf wurden in sehr geringem Umfang eher mehr korrekte Angaben gemacht, was vermutlich an der wiederholten Abfrage liegt. Mehrere Probanden hatten in der Nachbefragung angegeben, dass sie im Nachhinein gerne Antworten korrigiert hätten. Möglicherweise erfolgte dies zum Teil in der zweiten expliziten Abfrage, da jeweils alle Informationen zu allen Gesichtern abgefragt wurden, also nur Unterschiede in der Reihenfolge der gezeigten Gesichter bestanden.

4 Diskussion

Die Korrelation der Ergebnisse der impliziten und expliziten Abrufe in der Post-Gruppe, die sich in der Vorstudie signifikant gezeigt hatte, war in dieser Studie nicht signifikant.

Insgesamt ließ sich das Ergebnis der Post-Gruppe aus der Vorstudie nur teilweise replizieren, da der episodische Score hier negativ statt positiv war und implizite und explizite Ergebnisse nicht korrelierten. Jedoch scheint es sehr wohl eine räumlich-zeitliche Interaktion zu geben, da zumindest in der ersten Abfrage ebenfalls ein signifikanter episodischer Score nachzuweisen war und der Score der zweiten Abfrage zwar an sich nicht signifikant war, andererseits auch nicht signifikant unterschiedlich zu dem der ersten Abfrage. Dass eine Interaktion vorhanden ist, lässt vermuten, dass die Aspekte wann und wo ein Ereignis stattgefunden hat, in Zusammenhang abgespeichert werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Untersuchung von Pause et al. (Pause, Jungbluth, Adolph, Pietrowsky, & Dere, 2010), eine episodische Einbindung konnte nicht nachgewiesen werden, wohl aber eine räumlich-zeitliche Interaktion.

Beeinflusst ein expliziter Abruf einen nachfolgenden impliziten Abruf?

Auch wenn die Unterschiede der beiden episodischen Scores der impliziten Abrufe nicht signifikant waren und möglicherweise der Gruppengröße geschuldet sind, muss bedacht werden, dass der zweite Abruf möglicherweise deshalb andere Ergebnisse erbrachte, weil die Probanden der Gruppe Post im Anschluss an den ersten impliziten Abruf einen expliziten Abruf absolvierten. Hierdurch könnte die Aufmerksamkeit durch die gezielten Fragen zu den Gesichtern verstärkt auf die Wissensinhalte der Aufgaben gelenkt worden sein. Zum einen könnte hierdurch der zweite implizite Abruf dadurch beeinflusst werden, dass er gerade nicht mehr unbewusst erfolgt, sondern ebenfalls explizit, also bewusst und sich somit ein anderes Erkundungsmuster zeigt. Zum anderen könnte durch das Bewusstwerden der zugrundeliegenden Fragestellung durch den expliziten Abruf eher semantisches Wissen getriggert werden, anstatt episodisches Gedächtnis. Zentall et al. (Zentall, Clement, Bhatt,

4 Diskussion

& Allen, 2001) beschrieben in einer Studie mit Tauben, dass eine aktive statt passive Enkodierung der WWW-Aspekte im folgenden Abruf dazu führte, dass Wissen zwar abgerufen wurde, aber nicht auf eine episodische Erinnerung im Sinne einer mentalen Zeitreise zurückgegriffen wurde.

Möglicherweise wird generell aber auch schon durch eine wiederholte implizite Abfrage trotz Verwendung anderer Gesichter das Blickverhalten anders, da die Probanden verstärkt über den Sinn der Aufgabe nachdenken und die Gesichter gezielter ansehen, womit nicht mehr Zeit und Ort des Auftauchens alleine das Blickverhalten steuern. Die Hypothese, dass ein expliziter Abruf keinen Einfluss auf einen nachfolgenden impliziten Abruf hat, kann aufgrund der Ergebnisse nicht eindeutig beantwortet werden, es ergaben sich jedoch Hinweise darauf, dass sie wahrscheinlich verworfen werden muss.

Ergebnisse der Pre-Post-Gruppe - Vergleich der Abfragen vor und nach dem Schlaf

Die Pre-Post-Gruppe wurde für die vorliegende Arbeit neu eingeführt, um zu untersuchen, wie sich die Abfrageergebnisse vor und nach dem Schlaf unterscheiden. Nach der Enkodierung beider Episoden, die ebenso ablief wie in der Post-Gruppe, war nach einem Retentionsintervall von einer Stunde, in welchem die Probanden wach waren, ein erster impliziter Abruf mittels Eyetracking erfolgt. Danach durften die Probanden ebenso wie die der Post-Gruppe acht Stunden schlafen, bevor der zweite Abruf erfolgte. Bei den ersten fünf Probanden der Pre-Post-Gruppe war vor dem Schlafen auch ein expliziter Abruf nach dem impliziten Abruf erfolgt.

Das Ergebnis der Gesamtgruppe Pre-Post war überraschend, da sich zwar im impliziten Abruf vor dem Schlaf wie erwartet kein episodischer Score nachweisen ließ, jedoch war dieser auch nach dem Schlaf nicht signifikant. Ein erster impliziter Abruf vor dem Schlaf könnte allerdings bereits die Repräsentation der Episoden im Hippocampus verändert haben, da die Erinnerung abgerufen wird und diese sich aufgrund des Erlebnisses der Abfrage möglicherweise verändert, da eine Reenkodierung stattfindet (Inostroza

4 Diskussion

& Born, 2013a; Karpicke & Roediger, 2008). So könnte die Erinnerung an die Episoden sogar geschwächt werden.

Ebenso könnte der explizite Abruf vor dem zweiten impliziten Abruf dessen Ergebnisse beeinflussen. Dies wurde oben für die Post-Gruppe bereits diskutiert, in der Gruppe Pre-Post fand jedoch der erste explizite Abruf bereits vor dem Schlaf statt und wurde damit möglicherweise auch konsolidiert. Es erfolgte eine Auswertung innerhalb der Subgruppen, wo sich tatsächlich ein signifikanter Unterschied der episodischen Scores im Vergleich der jeweils *zweiten* Abrufe fand (in dieser Gruppe der einzige Abruf nach dem Schlaf). Die episodischen Scores an sich waren nicht signifikant (in der Gruppe mit erstem explizitem Abruf ($n = 5$) jedoch knapp). Allerdings fiel auf, dass in der Subgruppe mit erstem expliziten Abruf der episodische Score deskriptiv positiv war, in der Subgruppe ohne ersten expliziten Abruf deskriptiv negativ. Es kam daher auch ein signifikanter Unterschied im Vergleich des episodischen Scores des zweiten impliziten Abruf der Subgruppe $n = 5$ mit den Abrufen Post 1 und Post 2 der Gruppe Post zustande, während sich für die Subgruppe $n = 9$ und damit auch für die Gesamtgruppe Pre-Post keine signifikanten Unterschiede ergaben. Allerdings waren die Probandenzahlen der Subgruppen mit fünf und neun Probanden sehr klein, sodass die Aussagekraft des Ergebnisses beschränkt ist. Das positive Ergebnis des episodischen Scores im zweiten Abruf der Subgruppe $n = 5$ entstand wesentlich durch die lange Erkundungszeit des Gesichts an der Position RD (siehe Abbildung 9), was im Wesentlichen durch eine Probandin (Probandennummer 407) zustande gekommen war, die angegeben hatte, sehr müde gewesen zu sein.

Die Ergebnisse der expliziten Abrufe waren für ersten und zweiten Abruf in der Pre-Post-Gruppe ähnlich, auch der Vergleich mit den expliziten Abrufen der Post-Gruppe ließ keine signifikanten Unterschiede feststellen. Außerdem war auch in der Pre-Post-Gruppe keine signifikante Korrelation zwischen impliziten und expliziten Ergebnissen zu finden.

4 Diskussion

Insgesamt konnte in dieser Studie für die Pre-Post-Gruppe nicht wie erwartet ein signifikanter episodischer Score gemessen werden, weder nach dem Schlaf wie vermutet, noch vor dem Schlaf. Allerdings waren die Unterschiede zur Post-Gruppe trotzdem nicht signifikant. In der Betrachtung der Subgruppen fiel außerdem ein signifikanter Unterschied zwischen den episodischen Scores nach dem Schlaf auf, sodass möglicherweise der explizite Abruf vor dem Schlaf Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Der episodische Score des Abrufs nach dem Schlaf der Subgruppe ohne ersten expliziten Abruf vor dem Schlaf war ähnlich dem episodischen Score der Post-Gruppe.

Eyetracking als Ursache für die unerwarteten Ergebnisse

In der Vorstudie hatten Weber et al (Weber et al., 2014) das Eyetracking als neue Methode zur Erfassung des episodischen Gedächtnisses implementiert, es muss nun anhand der vorliegenden abweichenden Ergebnisse jedoch überprüft werden, ob sich diese Methode bei Menschen tatsächlich eignet, um die gewünschten Parameter zu erfassen, oder ob das Blickverhalten doch zu inkonsistent ist.

Auswertung der Kontrollmessungen für beide Gruppen

Die Auswertung der Kontrollmessungen ergab für den PAL keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Abfragen. Die Ergebnisse für die Anzahl der richtigen Wortpaare korrelierten jeweils in der sofortigen und der späteren Abfrage. Da die Probanden über das Schlafintervall fast nichts vergessen haben, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen Konsolidierungsprozess während des Nachtschlafs, da sonst nach dem Retentionsintervall von 10h viel mehr vergessen sein müsste. Mehrere Studien konnten zeigen, dass nach einem Schlafintervall die Leistung in Wortpaar-assoziierten Gedächtnisaufgaben deutlich besser ist, als in der Wachkontrollgruppe (Payne et al., 2012; Plihal & Born, 1997; Wilhelm, Diekelmann, & Born, 2008). Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden alle eine normale Merkfähigkeit hatten, da die Ergebnisse der sofortigen und der späteren Abfrage korrelierten.

4 Diskussion

Die korrekte Listenzuordnung der Wortpaare (unabhängig davon, ob das Wortpaar korrekt genannt wurde) war für beide Listen signifikant besser als das Zufallslevel, was auf eine zeitliche Erinnerung schließen lässt. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der korrekten Zuordnung zu Liste eins oder zwei, sodass davon auszugehen ist, dass beide ähnlich stark enkodiert wurden ohne Vorteil für die erste oder zweite Liste, auch wenn für die Liste eins ein größerer Abstand zum Schlafintervall bestand.

Die Kombination aus korrekt genanntem Wortpaar und korrekter Listenzuordnung (was am ehesten einer episodischen Gedächtnisaufgabe entsprechen würde) war in der Gruppe Post jedoch nur für die zweite Liste signifikant besser als das Zufallslevel. Eventuell waren die Ergebnisse der zweiten Liste aufgrund eines Übungseffekts geringgradig besser, oder aufgrund der Tatsache, dass der Abstand zum Schlafen für die zweite Liste geringer war. Allerdings waren in der Gruppe Pre-Post hier die Ergebnisse für beide Listen signifikant, obwohl die Konditionen für den PAL dieselben waren wie in der Post-Gruppe. Da in der vorliegenden Studie aufgrund der Anpassung im Ablauf der Pre-Post-Gruppe nur die sofortigen Abfragen nach dem Lernen vor dem Schlaf stattfanden, aber keine Abfrage zur Listenzuordnung, kann an dieser Stelle kein Vergleich der Ergebnisse vor und nach dem Schlaf erfolgen. Dies wurde jedoch in einer anderen Studie untersucht (Wang, Weber, Zinke, Noack, & Born, 2017). Dort konnte wie erwartet ein positiver Effekt von Schlaf auf die Anzahl der korrekt erinnerten Wortpaare gezeigt werden, jedoch gelang dies überraschenderweise nicht für das kombinierte Wissen zu Wortpaar und zugehöriger Liste.

Eine Erklärung für unterschiedliche Konsolidierung von Erlebnissen ist die Emotionalität. Positiv oder negativ Erlebtes wird besser gespeichert als neutrale Erlebnisse, da dieses eher eine Relevanz für die Zukunft beinhaltet (Fischer & Born, 2009; Payne & Kensinger, 2010; Wilhelm et al., 2011). In der PANAS hatten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede gezeigt, sodass sich die unterschiedlichen Ergebnisse in den Post-Abfragen der Post- und Pre-Post-

4 Diskussion

Gruppe nicht durch positive oder negative Emotionen, die womöglich durch den unterschiedlichen Ablauf entstehen hätten können, erklären lassen.

Die subjektive Abfrage der Schläfrigkeit mittels SSS war vor dem ersten Abruf in beiden Gruppen signifikant höher angegeben worden, als vor dem zweiten Abruf. Dabei ist zu beachten, dass der erste Abruf in der Gruppe Pre-Post vor dem Schlaf lag, nach der normalen Bettgezeit und in der Post-Gruppe erst am nächsten Morgen erfolgte. Denkbar wäre auch, dass eine starke Ermüdung der Probanden der Pre-Post-Gruppe für den geringen episodischen Score im ersten Abruf mitverantwortlich ist. Wie für die Enkodierung ist es auch für den Abruf wichtig, dass die Probanden aufmerksam sind.

In der objektiven Messung der Reaktionszeiten fielen jedoch signifikante Unterschiede nur in der Pre-Post-Gruppe auf. Vor der zweiten Episode zur Enkodierung waren die Reaktionszeiten größer und vor dem ersten Abruf am größten. Dies passt zu der subjektiven Einschätzung. Da die explizite Abfrage wesentlich länger dauerte, als die implizite, wurde hier ein Unterschied in den Ergebnissen vermutet, dieser ließ sich aber im Gruppenvergleich der ersten expliziten Abrufe nicht nachweisen.

Im Nachtschlaffragebogen der am folgenden Morgen ausgefüllt wurde, hatten die Probanden ihre Müdigkeit vor dem Schlaf in der Experimentalnacht rückblickend als mittel bis sehr hoch eingeschätzt, allerdings waren die Angaben in der Referenznacht ähnlich.

Bei der Auswertung der Nachbefragung wurde klar, dass alle Probanden mit einer Abfrage gerechnet und fast alle eine bestimmte Merkstrategie angewendet hatten. Damit stellt sich die Frage, ob nicht auch die impliziten Abfragen durch semantische Merkstrategien beeinflusst waren. Allerdings waren die angegebenen Merkstrategien hauptsächlich bezogen auf die Gesichter an sich oder ihre Anordnung, nur zwei Probanden der Gruppe Post hatten angegeben, sich auch gezielt eingepägt zu haben, zu welcher der beiden Episoden die Gesichter zugehörig waren. Die Unterschiede zwischen den korrekten Zuordnungen Was-Wann und Was-Wo waren in den expliziten

4 Diskussion

Abfragen jedoch nicht signifikant, sodass die Merkstrategien womöglich auch nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Bereits die Probandenauswahl kann eine bedeutende Rolle spielen, in der aktuellen Studie und der Vorstudie wurden jeweils Studenten rekrutiert, eine Personengruppe, die in dieser Lebensphase gewohnt ist, viel und schnell zu lernen, unbewusst und auch bewusst. Allein die Erwähnung des Wortes Aufmerksamkeit lässt sie womöglich vermuten, dass eine Abfrage folgt. Eine Untersuchung an einem anderen Probandenkollektiv könnte gerade für die impliziten Abfragen interessant sein.

„Was-Wo-Wann“ als passendes Paradigma für episodisches Gedächtnis?

In der Diskussion steht aktuell, welches Paradigma episodisches Gedächtnis besser erfasst, „WWW“ oder „Was-Wo-Welche Gelegenheit“. Die in dieser Studie verwendete Aufgabenstellung nach dem „WWW“-Schema zeigt die Effekte von Schlaf auf die Konsolidierung bei Ratten weniger stark und erst nach längerer Zeit an. Die Erinnerung wann etwas stattgefunden hat bildete sich erst nach einiger Zeit vollständig aus, während die räumliche Komponente sofort messbar war (Oyanedel et al., 2019). In der eben zitierten Studie konnte ein Unterschied zwischen Schlaf- und Wachgruppe somit erst nach einiger Zeit festgestellt werden. In der Abrufphase wurden mehrfach die benötigten Daten erfasst und erst nach mehreren Minuten war ein typisches Verhaltensmuster feststellbar. Möglicherweise wäre in der vorliegenden Studie eine längere Erfassungszeit der visuellen Erkundung in den Abrufphasen nötig gewesen, um einen deutlicheren episodischen Score zu erhalten. Allerdings kann dies nur das allgemein niedrige Level des episodischen Scores erklären, nicht die Unterschiede in den Abrufen und zwischen der Vorstudie und der aktuellen Studie.

In Untersuchungen an Ratten von Davis et al (Davis, Easton, Eacott, & Gigg, 2013, 2013a) erfolgten WWW-Abrufe bereits nach wenigen Minuten Retentionsintervall, interessanterweise war auch hier das Erkundungsmuster

4 Diskussion

anders, als es bei späteren Abfragen beobachtet wurde. Vermutet wurde, dass dies durch pro- und retroaktive Interferenz mit den Enkodierungsphasen entsteht, wenn die Erholungsphase bis zur Abfrage zu gering ist (Dere, Huston, & Silva, 2005; Kart-Teke et al., 2006). Möglicherweise bestehen jedoch schon nach der Enkodierung separate Erinnerungen an die einzelnen Komponenten was, wann und wo, aber erst nach einem ausreichendem Retentionsintervall mit Schlaf eine Erinnerung, die die Komponenten integriert (Oyanedel et al., 2019). Dies würde erklären, warum sich in der vorliegenden Studie im Abruf vor dem Schlaf kein episodischer Score nachweisen ließ. Entweder tatsächlich weil die Probanden nicht geschlafen hatten wie vermutet, oder aber, weil das Intervall zwischen Enkodierung und Abfrage zu kurz war. Warum sich auch in der Abfrage nach dem Schlaf in der Gruppe Pre-Post kein episodischer Score nachweisen ließ, könnte außer an den oben diskutierten Ursachen auch darin liegen, dass die Abfrage vor dem Schlaf die Gedächtnisspur wieder instabil werden lässt und auch die erste Abfrage encodiert wird, was zu einem veränderten Ergebnis im zweiten Abruf auch im Vergleich zur Post-Gruppe beiträgt (Forcato et al., 2007; Hupbach, Gomez, Hardt, & Nadel, 2007; Nader & Hardt, 2009).

Schlussfolgerung

Auch in der vorliegenden Studie ergaben sich Hinweise darauf, dass Schlaf eine wichtige Rolle bei der Konsolidierung von episodischem Gedächtnis spielt (Inostroza & Born, 2013a; Oyanedel et al., 2019; Weber et al., 2014). Eine Interaktion zwischen zeitlichen und räumlichen Aspekten ist auffällig, auch wenn die Richtung für den episodischen Score nicht klar dargestellt werden konnte. Möglicherweise ändert sich diese über die Zeit oder entwickelt sich über ein bestimmtes Zeitintervall. Um diese Fragen zu klären, sollten zukünftige Studien auch eine Abfrage direkt nach der Enkodierung und zum Beispiel nach ein und zwei Stunden Abstand vergleichen.

5 Zusammenfassung

Anhand dieser Arbeit sollte überprüft werden, ob Schlaf die Bildung von episodischem Gedächtnis und insbesondere die Einbindung einer Erinnerung in ihren räumlich-zeitlichen Kontext unterstützt. Hierzu sollten zunächst die Ergebnisse einer Vorstudie repliziert werden. Dort war basierend auf visuellen Erkennungsmustern bei erneuter Präsentation von zuvor implizit enkodierten Gesichterpositionen, ein episodischer Score zur Beschreibung einer Interaktion von räumlichen und zeitlichen Aspekten der Erinnerung nach dem Nachtschlaf entwickelt worden. Dieser hatte mit den Abfrageergebnissen nach dem „Was-Wo-Wann“-Paradigma korreliert.

Zusätzlich wurde in der vorliegenden Studie untersucht, wie sich die Erinnerung über eine Nacht Schlaf verändert. Deshalb wurden zwei Probandengruppen getestet, eine lediglich nach dem Schlafen wie in der Vorstudie und eine weitere Gruppe sowohl vor dem Schlaf als auch nach dem Schlaf.

Tatsächlich konnte in der Gruppe, die lediglich nach dem Schlaf getestet wurde, eine Interaktion zwischen den zeitlichen und räumlichen Komponenten der Aufgabe festgestellt werden, jedoch war hier das Erkennungsmuster eher gegensätzlich zur Vorstudie und eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der impliziten und expliziten Abfrage war nicht zu erkennen. Eine exakte Replikation der Vorstudie war somit nicht erreicht worden.

In der Gruppe, die vor und nach dem Schlaf getestet wurde, ließ sich vor dem Schlaf kein spezifisches Erkennungsmuster feststellen, erstaunlicherweise war in dieser Gruppe aber auch nach dem Schlaf kein signifikantes Muster erkennbar. Kontrollmessungen hatten keine Unterschiede zwischen den Gruppen aufgezeigt, sodass die Ursache im Design selbst vermutet wurde. Und wirklich fielen in Subgruppen gegensätzliche Ergebnisse auf, abhängig davon, ob vor dem Schlaf ein expliziter Abruf stattgefunden hatte oder nicht. In der Gruppe mit explizitem Abruf vor dem Schlaf konnte in der impliziten Abfrage nach dem Schlaf ein deskriptiv positiver episodischer Score nachgewiesen werden. Allerdings war die Gruppengröße sehr gering.

5 Zusammenfassung

Trotzdem zeigt sich auch in dieser Studie, dass sich über die Nacht etwas an der räumlich-zeitlichen Interaktion zu ändern scheint. Dies spricht dafür, dass auch das episodische Gedächtnis von Schlaf profitiert. Möglicherweise entwickelt sich der episodische Score erst nach einer gewissen Zeit und sogar erst nach mehreren Stunden. Zukünftige Studien sollten eine Abfrage direkt nach der Enkodierung und Abfragen vor dem Schlaf zu unterschiedlichen Zeitintervallen berücksichtigen, auch wenn hierdurch die Abfragen nach dem Schlaf ebenfalls beeinflusst werden können. Auch diesbezüglich sind weitere Untersuchungen erforderlich.

6 Literaturverzeichnis

- Abraham, W. C., & Robins, A. (2005). Memory retention—the synaptic stability versus plasticity dilemma. *Trends in neurosciences*, 28(2), 73-78.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82-91.
- Bach, M. (2006). The Freiburg Visual Acuity Test—variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(7), 965-971.
- Bartlett, F. C., Bartlett, F. C., & Kintsch, W. (1995). *Remembering: A study in experimental and social psychology* (Vol. 14): Cambridge University Press.
- Battaglia, F. P., Benchenane, K., Sirota, A., Pennartz, C. M., & Wiener, S. I. (2011). The hippocampus: hub of brain network communication for memory. *Trends in cognitive sciences*, 15(7), 310-318.
- Berger, R. J., & Phillips, N. H. (1995). Energy conservation and sleep. *Behav Brain Res*, 69(1-2), 65-73.
- Bliss, T. V., & Collingridge, G. L. (1993). A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature*, 361(6407), 31.
- Bliss, T. V., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of physiology*, 232(2), 331-356.
- Borb, A. A., & Achermann, P. (1999). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. *Journal of biological rhythms*, 14(6), 559-570.
- Born, J., & Feld, G. B. (2012). Sleep to upscale, sleep to downscale: balancing homeostasis and plasticity. *Neuron*, 75(6), 933-935.
- Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006). Sleep to remember. *The Neuroscientist*, 12(5), 410-424.
- Born, J., & Wilhelm, I. (2012). System consolidation of memory during sleep. *Psychological research*, 76(2), 192-203.
- Breyer, B., & Bluemke, M. (2016). *Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel)*.
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625-641.
- Buzsáki, G. (1996). The hippocampo-neocortical dialogue. *Cerebral cortex*, 6(2), 81-92.
- Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I. R., & Moscovitch, M. (2008). The parietal cortex and episodic memory: an attentional account. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(8), 613.
- Cairney, S. A., Durrant, S. J., Musgrove, H., & Lewis, P. A. (2011). Sleep and environmental context: interactive effects for memory. *Experimental brain research*, 214(1), 83.
- Cheng, C.-Y., Yen, M.-Y., Lin, H.-Y., Hsia, W.-W., & Hsu, W.-M. (2004). Association of ocular dominance and anisometropic myopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 45(8), 2856-2860.

- Clayton, N. S., & Dickinson, A. (1998). Episodic-like memory during cache recovery by scrub jays. *Nature*, 395(6699), 272.
- Clayton, N. S., Griffiths, D., Emery, N., & Dickinson, A. (2001). Elements of episodic-like memory in animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 356(1413), 1483-1491.
- Clayton, N. S., & Russell, J. (2009). Looking for episodic memory in animals and young children: prospects for a new minimalism. *Neuropsychologia*, 47(11), 2330-2340. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.011
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(6), 671-684.
- Davis, K. E., Easton, A., Eacott, M. J., & Gigg, J. (2013). Episodic-like memory for what-where-which occasion is selectively impaired in the 3xTgAD mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 33(3), 681-698.
- Davis, K. E., Easton, A., Eacott, M. J., & Gigg, J. (2013a). Episodic-like memory for what-where-which occasion is selectively impaired in the 3xTgAD mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 33(3), 681-698.
- Deliens, G., & Peigneux, P. (2014). One night of sleep is insufficient to achieve sleep-to-forget emotional decontextualisation processes. *Cognition & emotion*, 28(4), 698-706.
- Dere, E., Huston, J. P., & Silva, M. A. D. S. (2005). Episodic-like memory in mice: simultaneous assessment of object, place and temporal order memory. *Brain research protocols*, 16(1-3), 10-19.
- DeVito, L. M., & Eichenbaum, H. (2011). Memory for the order of events in specific sequences: contributions of the hippocampus and medial prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 31(9), 3169-3175.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2007). One memory, two ways to consolidate? *Nat Neurosci*, 10(9), 1085.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 114.
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep medicine reviews*, 13(5), 309-321.
- Dinges, D. F., Pack, F., Williams, K., Gillen, K. A., Powell, J. W., Ott, G. E., . . . Pack, A. I. (1997). Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. *Sleep*, 20(4), 267-277.
- Drosopoulos, S., Schulze, C., Fischer, S., & Born, J. (2007). Sleep's function in the spontaneous recovery and consolidation of memories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(2), 169.
- Drosopoulos, S., Windau, E., Wagner, U., & Born, J. (2007). Sleep enforces the temporal order in memory. *PLoS One*, 2(4), e376.
- Dudai, Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annu. Rev. Psychol.*, 55, 51-86.

- Dudai, Y. (2012). The restless engram: consolidations never end. *Annual review of neuroscience*, 35, 227-247.
- Eacott, M. J., & Norman, G. (2004). Integrated memory for object, place, and context in rats: a possible model of episodic-like memory? *Journal of Neuroscience*, 24(8), 1948-1953.
- Easton, A., & Eacott, M. J. (2008). A new working definition of episodic memory: replacing “when” with “which”. *Handbook of Behavioral Neuroscience*, 18, 185-196.
- Easton, A., Webster, L. A., & Eacott, M. J. (2012). The episodic nature of episodic-like memories. *Learning & Memory*, 19(4), 146-150.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das gedächtnis: untersuchungen zur experimentellen psychologie*: Duncker & Humblot.
- Ebner, N. C., Riediger, M., & Lindenberger, U. (2010). FACES—A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: Development and validation. *Behavior research methods*, 42(1), 351-362.
- Ellenbogen, J. M., Hulbert, J. C., Stickgold, R., Dinges, D. F., & Thompson-Schill, S. L. (2006). Interfering with theories of sleep and memory: sleep, declarative memory, and associative interference. *Current Biology*, 16(13), 1290-1294.
- Ennaceur, A., Neave, N., & Aggleton, J. P. (1997). Spontaneous object recognition and object location memory in rats: the effects of lesions in the cingulate cortices, the medial prefrontal cortex, the cingulum bundle and the fornix. *Experimental brain research*, 113(3), 509-519.
- Fischer, S., & Born, J. (2009). Anticipated reward enhances offline learning during sleep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(6), 1586.
- Fischer, S., Drosopoulos, S., Tsen, J., & Born, J. (2006). Implicit learning—explicit knowing: a role for sleep in memory system interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 311-319.
- Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002). Sleep forms memory for finger skills. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(18), 11987-11991.
- Forcato, C., Burgos, V. L., Argibay, P. F., Molina, V. A., Pedreira, M. E., & Maldonado, H. (2007). Reconsolidation of declarative memory in humans. *Learning & Memory*, 14(4), 295-303.
- Fortin, N. J., Agster, K. L., & Eichenbaum, H. B. (2002). Critical role of the hippocampus in memory for sequences of events. *Nat Neurosci*, 5(5), 458.
- Frank, M. G., Jha, S. K., & Coleman, T. (2006). Blockade of postsynaptic activity in sleep inhibits developmental plasticity in visual cortex. *Neuroreport*, 17(13), 1459-1463.
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(2), 119.
- Gais, S., Albouy, G., Boly, M., Dang-Vu, T. T., Darsaud, A., Desseilles, M., . . . Vandewalle, G. (2007). Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(47), 18778-18783.

- Gais, S., & Born, J. (2004). Declarative memory consolidation: mechanisms acting during human sleep. *Learning & Memory*, 11(6), 679-685.
- Gais, S., Lucas, B., & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, 13(3), 259-262.
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U., & Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat Neurosci*, 3(12), 1335.
- Gais, S., Rasch, B., Wagner, U., & Born, J. (2008). Visual-procedural memory consolidation during sleep blocked by glutamatergic receptor antagonists. *Journal of Neuroscience*, 28(21), 5513-5518.
- Genzel, L., Kiefer, T., Renner, L., Wehrle, R., Kluge, M., Grözing, M., . . . Dresler, M. (2012). Sex and modulatory menstrual cycle effects on sleep related memory consolidation. *Psychoneuroendocrinology*, 37(7), 987-998.
- Giuditta, A., Ambrosini, M. V., Montagnese, P., Mandile, P., Cotugno, M., Zucconi, G. G., & Vescia, S. (1995). The sequential hypothesis of the function of sleep. *Behav Brain Res*, 69(1-2), 157-166.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*: John Wiley & Sons, New York.
- Hobson, J. A. (2005). Sleep is of the brain, by the brain and for the brain. *Nature*, 437(7063), 1254.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C. (1973). Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431-436.
- Holland, S. M., & Smulders, T. V. (2011). Do humans use episodic memory to solve a What-Where-When memory task? *Animal cognition*, 14(1), 95-102.
- Hu, P., Stylos-Allan, M., & Walker, M. P. (2006). Sleep facilitates consolidation of emotional declarative memory. *Psychological science*, 17(10), 891-898.
- Hupbach, A., Gomez, R., Hardt, O., & Nadel, L. (2007). Reconsolidation of episodic memories: A subtle reminder triggers integration of new information. *Learning & Memory*, 14(1-2), 47-53.
- Inostroza, M., Binder, S., & Born, J. (2013). Sleep-dependency of episodic-like memory consolidation in rats. *Behav Brain Res*, 237, 15-22.
- Inostroza, M., & Born, J. (2013a). Sleep for preserving and transforming episodic memory. *Annual review of neuroscience*, 36, 79-102.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 10, 370-375.
- Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *The American Journal of Psychology*, 35(4), 605-612.
- Ji, D., & Wilson, M. A. (2007). Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep. *Nat Neurosci*, 10(1), 100.
- Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science*, 319(5865), 966-968.
- Kart-Teke, E., Silva, M. A. D. S., Huston, J. P., & Dere, E. (2006). Wistar rats show episodic-like memory for unique experiences. *Neurobiol Learn Mem*, 85(2), 173-182.

- Kent, C., & Lamberts, K. (2008). The encoding–retrieval relationship: retrieval as mental simulation. *Trends in cognitive sciences*, 12(3), 92-98.
- Knutson, K. L., Spiegel, K., Penev, P., & Van Cauter, E. (2007). The metabolic consequences of sleep deprivation. *Sleep medicine reviews*, 11(3), 163-178.
- Korman, M., Doyon, J., Doljansky, J., Carrier, J., Dagan, Y., & Karni, A. (2007). Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nat Neurosci*, 10(9), 1206.
- Koulack, D. (1997). Recognition memory, circadian rhythms, and sleep. *Perceptual and motor skills*, 85(1), 99-104.
- Krohne, H. W., Egloff, B., Kohlmann, C.-W., & Tausch, A. (1996). Untersuchungen mit einer deutschen Version der "Positive and Negative Affect Schedule" (PANAS). [Investigations with a German version of the Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)]. *Diagnostica*, 42(2), 139-156.
- LaBar, K. S., & Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(1), 54.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B., & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of sleep research*, 17(1), 3-10.
- Lange, T., Dimitrov, S., Bollinger, T., Diekelmann, S., & Born, J. (2011). Sleep after vaccination boosts immunological memory. *The Journal of Immunology*, 187(1), 283-290.
- Lange, T., Dimitrov, S., & Born, J. (2010). Effects of sleep and circadian rhythm on the human immune system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1193(1), 48-59.
- Lehn, H., Steffenach, H.-A., van Strien, N. M., Veltman, D. J., Witter, M. P., & Håberg, A. K. (2009). A specific role of the human hippocampus in recall of temporal sequences. *Journal of Neuroscience*, 29(11), 3475-3484.
- Lewis, P. A., & Durrant, S. J. (2011). Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata. *Trends in cognitive sciences*, 15(8), 343-351.
- Li, W., Ma, L., Yang, G., & Gan, W.-B. (2017). REM sleep selectively prunes and maintains new synapses in development and learning. *Nat Neurosci*, 20(3), 427.
- Maquet, P. (2001). The role of sleep in learning and memory. *Science*, 294(5544), 1048-1052.
- Marr, D., Willshaw, D., & McNaughton, B. (1991). Simple memory: a theory for archicortex *From the Retina to the Neocortex* (pp. 59-128): Springer.
- Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M., & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444(7119), 610.
- McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological review*, 102(3), 419.
- Mednick, S., Nakayama, K., & Stickgold, R. (2003). Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nat Neurosci*, 6(7), 697-698.
doi:10.1038/nn1078

- Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(1), 59.
- Misanin, J. R., Miller, R. R., & Lewis, D. J. (1968). Retrograde amnesia produced by electroconvulsive shock after reactivation of a consolidated memory trace. *Science*, 160(3827), 554-555.
- Mitchell, J. B., & Laiacona, J. (1998). The medial frontal cortex and temporal memory: tests using spontaneous exploratory behaviour in the rat. *Behav Brain Res*, 97(1-2), 107-113.
- Mordecai, K. L., Rubin, L. H., & Maki, P. M. (2008). Effects of menstrual cycle phase and oral contraceptive use on verbal memory. *Hormones and Behavior*, 54(2), 286-293.
- Müller, G. E., & Pilzecker, A. (1900). *Experimentelle beiträge zur lehre vom gedächtniss* (Vol. 1): JA Barth.
- Müller, N., Campbell, S., Nonaka, M., Rost, T., Pipa, G., Konrad, B., . . . Genzel, L. (2017). 2D:4D and spatial abilities: From rats to humans. *bioRxiv*, 193342. doi:10.1101/193342
- Nadel, L., & Moscovitch, M. (1997). Memory consolidation, retrograde amnesia and the hippocampal complex. *Current opinion in neurobiology*, 7(2), 217-227.
- Nader, K., & Hardt, O. (2009). A single standard for memory: the case for reconsolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 224.
- Ngo, H.-V. V., Martinetz, T., Born, J., & Mölle, M. (2013). Auditory closed-loop stimulation of the sleep slow oscillation enhances memory. *Neuron*, 78(3), 545-553.
- Niethard, N., Burgalossi, A., & Born, J. (2017). Plasticity during sleep is linked to specific regulation of cortical circuit activity. *Frontiers in neural circuits*, 11, 65.
- Oswald, I. (1980). Sleep as a restorative process: human clues *Progress in brain research* (Vol. 53, pp. 279-288): Elsevier.
- Oyanedel, C. N., Binder, S., Kelemen, E., Petersen, K., Born, J., & Inostroza, M. (2014). Role of slow oscillatory activity and slow wave sleep in consolidation of episodic-like memory in rats. *Behav Brain Res*, 275, 126-130.
- Oyanedel, C. N., Sawangjit, A., Born, J., & Inostroza, M. (2019). Sleep-dependent consolidation patterns reveal insights into episodic memory structure. *Neurobiol Learn Mem*, 160, 67-72.
- Pace-Schott, E. F., Milad, M. R., Orr, S. P., Rauch, S. L., Stickgold, R., & Pitman, R. K. (2009). Sleep promotes generalization of extinction of conditioned fear. *Sleep*, 32(1), 19-26.
- Pause, B. M., Jungbluth, C., Adolph, D., Pietrowsky, R., & Dere, E. (2010). Induction and measurement of episodic memories in healthy adults. *Journal of neuroscience methods*, 189(1), 88-96.
- Payne, J. D., & Kensinger, E. A. (2010). Sleep's role in the consolidation of emotional episodic memories. *Current directions in psychological science*, 19(5), 290-295.
- Payne, J. D., Schacter, D. L., Propper, R. E., Huang, L.-W., Wamsley, E. J., Tucker, M. A., . . . Stickgold, R. (2009). The role of sleep in false memory formation. *Neurobiol Learn Mem*, 92(3), 327-334.

- Payne, J. D., Tucker, M. A., Ellenbogen, J. M., Wamsley, E. J., Walker, M. P., Schacter, D. L., & Stickgold, R. (2012). Memory for semantically related and unrelated declarative information: the benefit of sleep, the cost of wake. *PLoS One*, *7*(3), e33079.
- Penton-Voak, I. S., Perrett, D. I., Castles, D. L., Kobayashi, T., Burt, D. M., Murray, L. K., & Minamisawa, R. (1999). Menstrual cycle alters face preference. *Nature*, *399*(6738), 741.
- Phillips, S. M., & Sherwin, B. B. (1992). Variations in memory function and sex steroid hormones across the menstrual cycle. *Psychoneuroendocrinology*, *17*(5), 497-506.
- Plihal, W., & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(4), 534-547.
- Rajaram, S. (1993). Remembering and knowing: Two means of access to the personal past. *Memory & cognition*, *21*(1), 89-102.
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological reviews*, *93*(2), 681-766.
- Rasch, B., Büchel, C., Gais, S., & Born, J. (2007). Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation. *Science*, *315*(5817), 1426-1429. doi:10.1126/science.1138581
- Rasch, B., Pommer, J., Diekelmann, S., & Born, J. (2009). Pharmacological REM sleep suppression paradoxically improves rather than impairs skill memory. *Nat Neurosci*, *12*(4), 396.
- Rauchs, G., Bertran, F., Guillery-Girard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Denise, P., . . . Eustache, F. (2004). Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep. *Sleep*, *27*(3), 395-401.
- Rechtschaffen, A., & Bergmann, B. M. (1995). Sleep deprivation in the rat by the disk-over-water method. *Behav Brain Res*, *69*(1-2), 55-63.
- Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968). A manual of standardized terminology, technique and scoring system for sleep stages of human sleep. *Brain Information Service, Los Angeles*.
- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Press, D. Z. (2004). Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. *Current Biology*, *14*(3), 208-212.
- Sara, S. J. (2000). Retrieval and reconsolidation: toward a neurobiology of remembering. *Learning & Memory*, *7*(2), 73-84.
- Schendan, H. E., Searl, M. M., Melrose, R. J., & Stern, C. E. (2003). An fMRI study of the role of the medial temporal lobe in implicit and explicit sequence learning. *Neuron*, *37*(6), 1013-1025.
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, *20*(1), 11.
- Shimizu, E., Tang, Y.-P., Rampon, C., & Tsien, J. Z. (2000). NMDA receptor-dependent synaptic reinforcement as a crucial process for memory consolidation. *Science*, *290*(5494), 1170-1174.

- Shors, T. J., Miesegaes, G., Beylin, A., Zhao, M., Rydel, T., & Gould, E. (2001). Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature*, *410*(6826), 372.
- Spencer, R. M., Sunm, M., & Ivry, R. B. (2006). Sleep-dependent consolidation of contextual learning. *Current Biology*, *16*(10), 1001-1005.
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, *253*(5026), 1380-1386.
- Squire, L. R., & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, *93*(24), 13515-13522.
- Stickgold, R. (2009). How do I remember? Let me count the ways. *Sleep medicine reviews*, *13*(5), 305-308.
- Stickgold, R., James, L., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nat Neurosci*, *3*(12), 1237.
- Tononi, G., & Cirelli, C. (2006). Sleep function and synaptic homeostasis. *Sleep medicine reviews*, *10*(1), 49-62.
- Tononi, G., & Cirelli, C. (2014). Sleep and the price of plasticity: from synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration. *Neuron*, *81*(1), 12-34.
- Tucker, M. A., & Fishbein, W. (2008). Enhancement of declarative memory performance following a daytime nap is contingent on strength of initial task acquisition. *Sleep*, *31*(2), 197-203.
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader, A., & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiol Learn Mem*, *86*(2), 241-247.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. *Organization of memory*, *1*, 381-403.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual review of psychology*, *53*(1), 1-25.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological review*, *80*(5), 352.
- Valla, J. M., & Ceci, S. J. (2011). Can sex differences in science be tied to the long reach of prenatal hormones? Brain organization theory, digit ratio (2D/4D), and sex differences in preferences and cognition. *Perspectives on Psychological Science*, *6*(2), 134-146.
- Van Cauter, E., Spiegel, K., Tasali, E., & Leproult, R. (2008). Metabolic consequences of sleep and sleep loss. *Sleep medicine*, *9*, S23-S28.
- Van Der Helm, E., Gujar, N., Nishida, M., & Walker, M. P. (2011). Sleep-dependent facilitation of episodic memory details. *PLoS One*, *6*(11), e27421.
- Wagner, A. D., Schacter, D. L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A. M., . . . Buckner, R. L. (1998). Building memories: remembering and forgetting of verbal experiences as predicted by brain activity. *Science*, *281*(5380), 1188-1191.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, *427*(6972), 352-355. doi:10.1038/nature02223

- Walker, M. P., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2003). Sleep and the time course of motor skill learning. *Learning & Memory, 10*(4), 275-284.
- Wang, J.-Y., Weber, F. D., Zinke, K., Noack, H., & Born, J. (2017). Effects of sleep on word pair memory in children—separating item and source memory aspects. *Frontiers in psychology, 8*, 1533.
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *J Pers Soc Psychol, 54*(6), 1063-1070.
- Webb, W. B. (1988). Theoretical Presentation An Objective Behavioral Model of Sleep. *Sleep, 11*(5), 488-496.
- Weber, F. D., Wang, J. Y., Born, J., & Inostroza, M. (2014). Sleep benefits in parallel implicit and explicit measures of episodic memory. *Learn Mem, 21*(4), 190-198. doi:10.1101/lm.033530.113
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., & Born, J. (2008). Sleep in children improves memory performance on declarative but not procedural tasks. *Learning & Memory, 15*(5), 373-377.
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., Molzow, I., Ayoub, A., Mölle, M., & Born, J. (2011). Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. *Journal of Neuroscience, 31*(5), 1563-1569.
- Wilson, M. A., & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science, 265*(5172), 676-679.
- Winocur, G., Moscovitch, M., & Bontempi, B. (2010). Memory formation and long-term retention in humans and animals: Convergence towards a transformation account of hippocampal–neocortical interactions. *Neuropsychologia, 48*(8), 2339-2356.
- Yang, G., Lai, C. S. W., Cichon, J., Ma, L., Li, W., & Gan, W.-B. (2014). Sleep promotes branch-specific formation of dendritic spines after learning. *Science, 344*(6188), 1173-1178.
- Yaroush, R., Sullivan, M. J., & Ekstrand, B. R. (1971). Effect of sleep on memory: II. Differential effect of the first and second half of the night. *Journal of experimental psychology, 88*(3), 361.
- Yonelinas, A. P. (2001). Components of episodic memory: the contribution of recollection and familiarity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 356*(1413), 1363-1374.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of memory and language, 46*(3), 441-517.
- Zentall, T. R., Clement, T. S., Bhatt, R. S., & Allen, J. (2001). Episodic-like memory in pigeons. *Psychonomic bulletin & review, 8*(4), 685-690.
- Zheng, Z., & Cohn, M. J. (2011). Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios. *Proceedings of the national academy of sciences, 108*(39), 16289-16294.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie der Eberhard Karls Universität Tübingen durchgeführt. Mein habilitierter Betreuer war Professor Dr. Jan Born und mein alltäglicher Co-Betreuer war Frederik Weber.

Die Studie inklusive der Fragebögen wurde von Frederik Weber unter Betreuung von Professor Jan Born konzipiert.

Die Entwicklung und Verfeinerung der anspruchsvollen und zeitkritischen Ablaufprotokolle erfolgten durch mich, in Rücksprache mit Frederik Weber während eines Probeablaufs (nicht in die Auswertung eingegangen).

Aufgrund von Terminüberschneidungen mit Experimentalnächten übernahm Frederik Weber die Durchführung der Habituationsnacht von Proband 443 und jeweils bis zur Bettgehzeit der Probanden 471, 475, 451, 466. Außerdem übernahm er die Referenznacht von Proband 420 und ebenfalls bis zur Bettgehzeit die Probanden 436, 452, 463, 454, 462 und 480. Den wesentlichen Teil der Datenaufnahme dieser Studie (das heißt den weiteren Protokollablauf am nächsten Morgen, alle weiteren Habituations- und Referenznächte, sowie alle Experimentalnächte) führte ich selbst durch.

Das Schlafscoring der EEG, die während der Schlafphase in Experimental- und Referenznacht aufgezeichnet wurden, sowie die Auswertung erfolgten vollständig durch mich. Das zweite Scoring zur Gegenkontrolle erfolgte durch Frederik Weber.

Die erste Aufarbeitung der Rohdaten in statistisch verwertbare Variablen erfolgte durch Frederik Weber, die Anlage der weiteren Datentabellen zur Auswertung und die statistische Auswertung erfolgten eigenständig durch mich. Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Teningen, 26.09.2019

8 Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Dr. Born für die Überlassung des für mich weiterhin sehr faszinierenden und interessanten Themas, die hilfreiche Unterstützung bei der Eingrenzung und Auswahl der Hypothesen und der kurzfristigen Terminvergaben.

Ein besonderes Dankeschön geht an Frederik Weber, der mich während der gesamten Zeit großartig unterstützt hat, sei es während der Planung und Durchführung der Studie, als auch während Auswertung und Abfassung dieser Arbeit. Ich danke ihm vor allem für die geduldigsten Erklärungen zu Statistik, Diagrammen und Software, ohne je zu verzweifeln, für die motivierenden Rückmeldungen während der gesamten Zeit und auch für die gute Erreichbarkeit, egal zu welcher Uhrzeit oder in welchem Teil der Welt. Dies hat entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Vielen herzlichen Dank!

Ein großer Dank gebührt auch allen Probandinnen und Probanden für die motivierte Mitarbeit und die schönen Gespräche, die sich entwickelt haben, sowie den Mitarbeitern des Kinderschlaflabors für die gute Zusammenarbeit.

Weiterhin danke ich dem Promotionsbüro für die Hilfestellungen bei allen aufkommenden Fragen und Problemen.

Auch bei meiner Simed-Gruppe möchte ich mich bedanken, ohne die ich vermutlich diese Arbeit nicht begonnen hätte.

Schließlich geht ein großes Dankeschön an meine Familie und meine Freunde, ohne die ich nicht am Ziel angekommen wäre, insbesondere Danke an die Kollegen, die Dienste übernommen haben; an Sabrina für das Korrekturlesen und das zweite Zuhause in Tübingen; an Carole für den Gedankenaustausch in der anstrengendsten Zeit; an meinen Bruder Marcel für die stetige Erinnerung

8 Danksagung

an die Fertigstellung der Arbeit; an meine Oma Maria, die immer für mich da ist; an meinen Onkel Karl-Heinz für die Beschaffung sämtlicher Hard- und Software und für das Kümmern um jegliche Papierarbeit außerhalb der Doktorarbeit, damit ich mich hierauf konzentrieren konnte.

Der größte Dank geht jedoch an meine Eltern für die unfassbare Unterstützung in allen Lebenslagen, insbesondere auch während des Studiums und darüber hinaus.

9 Anhang

Nachbefragungsbogen

Frage 1) Im Nachhinein: Wie haben Sie sich gefühlt, als Sie zum ersten Mal (Sitzung 1) den Test mit den Gesichtern in den Fenstern gemacht haben?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Antworten der Gruppe Post/ Pre-Post (Anzahl der Probanden):

	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
motiviert	1/0	3/1	3/4	3/4	0/5
überfordert	7/5	2/9	1/0	0/0	0/0
vergnügt	4/2	1/3	5/4	0/3	0/2
müde	1/3	5/6	3/3	1/2	0/0

Frage 2) Im Nachhinein: Wie haben Sie sich gefühlt, als Sie zum zweiten Mal (Sitzung 2) den Test mit den Gesichtern in den Fenstern gemacht haben?

bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Antworten der Gruppe Post/ Pre-Post (Anzahl der Probanden):

	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
motiviert	2/1	4/4	2/5	2/3	0/1
überfordert	7/7	2/4	1/3	0/0	0/0
vergnügt	4/4	3/8	3/2	0/0	0/0
müde	0/1	3/3	5/8	2/1	0/1

Frage 3) Wie haben Sie sich während der Abfrage zu den Sitzungen gefühlt, als Sie die Gesichter erkennen mussten und den Fenstern oder Sitzungen zugeordnet haben?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Antworten der Gruppe Post/ Pre-Post (Anzahl der Probanden):

	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
motiviert	2/1	0/0	4/5	4/6	0/2
überfordert	4/3	2/3	1/4	2/4	1/0
vergnügt	3/3	5/4	2/7	0/0	0/0
müde	1/3	5/5	1/4	2/0	1/2

Frage 4) Sie wurden gebeten, bestimmte Verhaltensregeln vor und während den Versuchstagen zu beachten. Haben sie sich dennoch anders verhalten? (Koffein, Rauchen, Alkohol, Schlaf tagsüber, Medikamenteneinnahme, Stress, schweres Essen, unregelmäßiger Schlaf, Leistungssport, sonstiges)

Antworten:

Post-Gruppe: Ein Proband gab an einen Kaffee getrunken zu haben, ein Proband hatte ein Medikament auf pflanzlicher Basis eingenommen.

Pre-Post-Gruppe: Auch hier hatte ein Proband einen Kaffee getrunken, ein geringer Alkoholkonsum wurde von einem Probanden am Tag der Habituationsnacht angegeben, tagsüber kurz eingenickt zu sein gab ebenfalls ein Proband an, jeweils ein Proband hatte sich gestresst gefühlt und in der Zeit vor dem Versuch unregelmäßig geschlafen.

Frage 5) Ist Ihnen heute oder während der Versuchstage etwas Unerwartetes passiert?

In der Post-Gruppe gab ein Proband an, seine Waschmaschine sei kaputt gegangen.

Frage 6) Haben Sie versucht, sich die Gesichter und/oder ihre Fensterpositionen und/oder die richtige Sitzung in irgendeiner Weise zu merken oder einzuprägen?

	Post	Pre-Post
Gesichter	7	10
Gesichter-Positionen	3	6
Gesichter-Anordnung	5	9
Gesichter-Sitzung	2	0
Sonstiges	0	1

Frage 7) Falls „Ja“, welche Lernstrategie haben Sie angewendet?

a) für die Gesichter

Antworten der Gruppe Post: „lustiger Vergleich“, „Haare, Gesichtsform, Verbindung zu bekannten Menschen“, „besondere Merkmale im Gesicht, Haare, etc.“, „ähnliche, bekannte Personen“, „versucht, mir Merkmale zu merken, vorgestellt“, „auffällige Gesichtszüge“, „bekannte Gesichter im Vergleich“, „Namen“

Antworten der Gruppe Pre-Post: „anschauen, dann im Kopf ohne hinzuschauen abfragen“, „mit Bildern verknüpft“, „Namen gegeben von Personen, die ich kenne, die den gezeigten Bildern im Entfernten ähnlich sahen“, „mit Hilfe der Frisur“, „erdachter Charakter“, „Auffälligkeiten, Haarfarbe, Gesichtszüge“, „merken“, „Vergleiche“, „Assoziationen erstellt“, „Assoziationen finden“, „Geschichte mit Gesichtern verbunden“, „Namen geben“

b) für die Gesichter-Positionen

Antworten der Gruppe Post: „Haarfarbe, Frisur, vorgestellt“, „Geschichten“, „mit Freunden/Bekanntem, die mit davor schon bekannt waren verglichen“

Antworten der Gruppe Pre-Post: „anschauen, dann im Kopf ohne hinzuschauen abfragen“, „Pfeilverknüpfung“, „Reihenfolge des Aufzeigens“, „merken“, „Gesamtbild merken“, „Gesamteindruck“

c) für die Gesichter-Anordnung

Antworten der Gruppe Post: „vorgestellt“, „Geschichten“

9 Anhang

Antworten der Gruppe Pre-Post: „anschauen, dann im Kopf ohne hinzuschauen abfragen“, „Muster oder Form erkennen“, „Anordnung im Muster“, „Habe mir unabhängig der Gesichter probiert, die betroffenen Fenster zu merken“, „Zugehörigkeit der Gesichter zueinander“, „Anordnung im Fenster“, „Attraktivität“, „Reihenfolge mit Charakteristika merken“

d) für die Gesichter-Sitzung

Antworten der Gruppe Post: „ja, durch erproben“, „Muster“, „Muster“, „Geschichten“, „auswendig gelernt“

Antworten der Gruppe Pre-Post: „als Form“, „merken“, „Muster angeschaut“

e) für sonstiges

Antworten der Gruppe Post: keine

Antworten der Gruppe Pre-Post: „merken“, „Farbe von Merkmalen“

Frage 8) Haben Sie versucht, Gesehenes aktiv zu wiederholen oder zu erinnern? Das heißt, haben Sie sich nach dem Test mit den Gesichtern in den Fenstern und/oder zu einer anderen Zeit irgendwann bemüht, sich die Gesichter, Gesichter-Positionen, Gesichter-Anordnung oder deren Zuordnung zu den Sitzungen wieder ins Gedächtnis zu rufen?

	Post	Pre-Post
Ja	4	1

Frage 9) Falls „Ja“; WANN haben Sie das versucht und WIE haben Sie das getan?

Antworten der Gruppe Post:

Wann? „während des Lernens“, „vor dem Einschlafen“, „vor Einschlafen“, „nach der Sitzung“

Wie? „bildlich wiederholen“, „vorgestellt“, „kurz Gesichter/Positionen wiederholen“, „erinnern und auswendig lernen“

Antworten der Gruppe Pre-Post:

Wann? „direkt danach“

Wie? „an Gesichtsmerkmale erinnert“

Frage 10) Hatten Sie vor der letzten Sitzung mit den Gesichtern eine Vorahnung, dass Sie sich an die Gesichter erinnern sollten oder danach gefragt werden würden?

	Post	Pre-Post
Ja	7	11

Frage 11) Falls „Ja“, bitte geben Sie an WARUM und WANN Sie diese Vorahnung hatten?

Antworten der Post-Gruppe: „weil die Gesichter eine solch lange Zeit gezeigt wurden“, „zu irgendetwas mussten die Gesichter ja gut sein, ich dachte mir deshalb, dass auf jeden Fall noch einmal eine Aufgabe dazu kommen wird“, „keine sinnlosen Versuche, kurz nach dem Anschauen“, „Ich fand es logisch, dass ich mir die Gesichter merken sollte. Habe das eigentlich von Anfang an geahnt.“, „Weil ich bei einem Schlaftest bin und ich mit so etwas gerechnet habe... Zeitpunkt beim Test“, „Weil sie schon in der ersten Versuchsnacht vorkamen und so lange eingeblendet wurden“, „als in der dritten Sitzung Gesichter aus eins und zwei in verschiedenen Positionen gezeigt wurden“

Antworten der Pre-Post-Gruppe: „weil es in der Studie um Erinnerungsvermögen geht“, „von Beginn an, es wurde kein Grund genannt und es sich zu merken war das naheliegendste“, „direkt bei Versuchsantritt“, „Ich habe mir gedacht, dass irgendwas noch kommen würde, sonst wäre das Experiment ja nicht so aussagekräftig“, „Dachte, dass man mir sonst nicht die Gesichter bereits teilweise in der Habitationsnacht zeigen würde.“, „Ab der ersten Sitzung, da es um Aufmerksamkeit geht“, „macht sonst keinen Sinn“, „ab dem ersten Versuch mit *Schau mal*, weil der Versuch *Aufmerksamkeit und Schlaf* heißt“, „direkt nach dem Zeigen der Gesichter, da es bei der Studie um Schlaf und Gedächtnis geht, habe ich gedacht, dass man nochmals danach

gefragt wird“; „weil es kein Test wäre, wenn nichts abgefragt wird. Während der zweiten Sitzung“; „weil es sonst sinnlos wäre die Gesichter so oft zu zeigen“

Frage 12-15) Wie schwierig fanden Sie es generell sich an die Gesichter/Gesichter-Positionen/Zuordnungen zu den Sitzungen/ Gesichter-Anordnung zu erinnern?

Antworten der Gruppe Post/Pre-Post (Anzahl der Probanden):

	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
Gesichter Sitzung 1	3/3	2/5	3/3	1/2	1/1
Gesichter Sitzung 2	2/2	3/2	4/7	0/2	1/1
Gesichter, die nicht in Sitzung 1 oder 2 auftauchten, aber davor	3/7	1/2	3/2	1/2	2/1
Gesichter-Positionen Sitzung 1	2/1	1/4	3/5	2/2	2/2
Gesichter-Positionen Sitzung 2	1/0	1/3	4/4	3/6	1/1
Zuordnung der Gesichter zu Sitzung 1	0/1	2/1	3/5	4/4	1/3
Zuordnung der Gesichter zu Sitzung 2	0/0	1/1	4/5	4/4	1/4
Zuordnung nicht in Sitzung 1 oder 2 (davor)	1/4	3/5	4/3	0/2	2/0
Gesichter-Anordnung Sitzung 1	2/2	1/1	1/7	5/2	1/2
Gesichter-Anordnung Sitzung 2	0/1	3/1	1/6	5/4	1/2

Frage 16) Wie viel Zeit war vom Ende der ersten Sitzung bis zum Anfang der zweiten Sitzung mit den Gesichtern auf Positionen? Bitte schätzen Sie in Minuten.

	Post	Pre-Post
Minimum	5	10
Maximum	60	65
Mittelwert	37,5	41,07

Frage 17) Welchen Unterschied denkst du, hatte die letzte Sitzung (das heißt NICHT Sitzung 1 oder Sitzung 2, sondern Sitzung 3) mit den Gesichtern auf den Fensterpositionen zu den beiden vorigen Sitzungen?

Antworten der Gruppe Post: „kürzer, keine Wiederholungen“, „andere Anordnung und andere Gesichter“, „Um mich zu verwirren, weil ja erst nach der Sitzung 3 die Abfrage kam“, „Verwirrung schaffen“, „Bilder aus 1 und 2“, „Merkfähigkeit testen“, „Ich konnte nicht aktiv wiederholen, in welchen Fenstern Gesichter erscheinen, sondern habe die Gesichter nur einmal gesehen“, „kürzere Einprägungsphase, aber bekannte Gesichter... Ziel unter Umständen Verwirrung“, „andere Personen und Anordnung“, „Sitzung 3 hatte Gesichter aus 1 und 2 auf verschiedenen Positionen“

Antworten der Gruppe Pre-Post: „neue Gesichter“, „Sitzung war viel kürzer, man hat die Gesichter nicht mehrmals gesehen“, „Gesichter aus beiden Sitzungen gemischt“, „Keine Gesichter merken, Verwirrung im Kopf schaffen“, „andere Fensterpositionen“, „Zur kleinen Verwirrung danach“, „Gesichter wurden nur einmal gezeigt (kürzere Sitzung als vorher) und die Gesichter wurden nicht ein- und ausgeblendet“, „Dieselben Gesichter wie in Sitzung 1, aber andere Anordnung und anderes Positions-Muster“, „unterschiedliche Positionen“, „war kürzer, nach dem Schlafen, Gesichter von anderen Sitzungen (1 oder 2) zum Teil“, „Gesichter wurden nur zusammen und nicht einzeln eingeblendet“, „Einprägezeit war kürzer und alle 4 Gesichter wurden nur einmal gezeigt“, „Sie kam nur kurz, ohne dass man sich viel merken konnte. Die Positionen und die Gesichter waren zum Teil anders.“, „keine Wiederholung, nur einmaliges Einblenden aller Gesichter“

Frage 18) Kannst du versuchen genau zu beschreiben, was in Sitzung 1 oder Sitzung 2 passiert ist und was du gesehen hast?

In der Regel beschrieben die Probanden das Haus mit den Fenstern und den Gesichtern, die gezeigt wurden. Zwei Probanden aus der Pre-Post-Gruppe hatten erkannt, dass das Auftauchen der Gesichter von ihrer Fixierung abhing.

Frage 19) Wollten Sie einige der Fragen zu den Gesichtern auf den Fensterpositionen korrigieren nachdem Sie diese beantwortet haben?

	Post	Pre-Post
Ja	5	6

Frage 20) Falls „Ja“, warum und bei welcher Aufgabe und Antwort?

Jeweils ein Proband aus jeder Gruppe gab an, er habe sich verlickt, ein Proband (Post) gab an er habe die Frage zunächst falsch verstanden gehabt, den übrigen Probanden fielen im Nachhinein vermeintliche Fehler ein.

Frage 21) Fiel es Ihnen schwer aufmerksam zu bleiben während den Sitzungen oder anderen Aufgaben?

Antworten der Gruppe Post/ Pre-Post (Anzahl der Probanden):

	nicht	wenig	mittel	ziemlich	sehr
Sitzung 1 mit den Gesichtern	1/3	6/5	1/4	1/2	1/0
Sitzung 2 mit den Gesichtern	2/2	5/4	3/2	1/5	0/1
Sitzung 3 mit den Gesichtern	1/2	4/3	3/5	2/2	0/2
Abfrage zu der Sitzung 1 und 2	4/2	3/7	1/2	2/1	0/2
Sitzung am vorherigen Tag mit den bewegten Gesichtern	0/4	4/3	5/4	1/2	0/1
Erstes Wortpaarlernen	3/3	5/4	0/4	1/1	1/2
Zweites Wortpaarlernen	2/1	4/5	3/3	0/4	1/1
Wortpaarabfrage	5/4	2/3	0/5	2/1	1/1

Frage 22) Können Sie den gesamten Versuchsablauf mit Ihren eigenen Worten kurz beschreiben? Beschreiben Sie bitte was für Aufgaben Sie gemacht haben und was dazwischen passiert ist? Verwenden Sie dafür bitte Stichworte und versuchen Sie die zeitliche Reihenfolge einzuhalten.

Diese Frage wurde von den Probanden sehr unterschiedlich beantwortet und floss daher nicht in die Auswertung mit ein.

Frage 23) Denken Sie in Sitzung 1 oder 2 mit den Gesichtern auf den bestimmten Fensterpositionen etwas bemerkt zu haben, warum die Gesichter verschwunden oder aufgetaucht sind?

	Post	Pre-Post
Ja	5	5

Frage 24) Denken Sie, dass das Auftauchen oder Verschwinden der Gesichter in den Sitzungen 1 und 2 durch irgendetwas ausgelöst wurde?

	Post	Pre-Post
Ja, es wurde durch etwas ausgelöst, ich weiß aber nicht wie	0	1
Ja, es wurde ausgelöst durch mein eigenes Verhalten	3	6
Nein, es war gänzlich zufällig	1	2
Nein, es unterlag einem speziellen wiederkehrenden Muster	2	3
Ich weiß es nicht	4	4
Sonstiges	1	0

Frage 25) Falls Sie denken, bemerkt haben zu wollen, warum die Gesichter auftauchen oder wieder verschwinden, geben Sie bitte den jeweiligen Grund an:

Drei Probanden der Gruppe Post gaben an, die Gesichter seien aufgetaucht, weil sie das entsprechende Fenster angesehen hätten, ein Proband gab an, er habe in Sitzung 2 das Gefühl gehabt, dass die Dauer der Anzeige davon abhing, wie lange er die Gesichter betrachtet hatte. Bezüglich des Verschwindens gaben 5 Probanden an, dass nach einer bestimmten Zeit die Gesichter wieder verschwanden, einer meinte bemerkt zu haben, dass das Gesicht verschwand, wenn er wegsah.

In der Gruppe Pre-Post gaben 6 Probanden an, das Gesicht sei dann aufgetaucht, wenn sie sich das entsprechende Fenster angesehen hätten, einer hatte die Frage falsch verstanden. 6 Probanden hatten eine Vermutung warum die Gesichter verschwanden, hiervon meinten zwei, dass eine gewisse Zeit abgelaufen sei. Zwei gaben an, die Gesichter seien verschwunden, nachdem

9 Anhang

sie sie eine gewisse Zeit angesehen hätten, einer gab an, die Gesichter verschwänden bei Nichtbeachtung und wiederum einer hatte die Frage falsch verstanden.

Frage 26) Denken Sie, dass die Reihenfolge in der die vier Gesichter aufgetaucht und wieder verschwunden sind einem bestimmten „Muster“ oder einer bestimmten „Sequenz“ entsprachen?

	Post	Pre-Post
Ja, bestimmte Sequenz	2	3
Ja, bestimmtes Muster	3	2
Nein, zufällig	2	6
Ich weiß nicht	3	2
Sonstiges	2 (nach Blickverhalten)	1 (nach Blickverhalten)