

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie der
Universität Tübingen

**Der Einfluss von Schlaf auf
Erinnerungsverfälschungen über Langzeit**

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

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

vorgelegt von

Hinse-Stern, Patricia

2019

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. J. Born
2. Berichterstatter: Professor Dr. H.-P. Thier

Tag der Disputation: 17.12.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Gedächtniskategorien	1
1.2 Gedächtnisprozesse	2
1.3 Schlafstadien	2
1.4 Offline-Konsolidierung im Schlaf	4
1.5 Aktive Systemkonsolidierung und Zwei-Ebenen-Modell	4
1.6 Erinnerungsverfälschungen	5
1.6.1 Erinnerungsverfälschungen unter Laborbedingungen	6
1.6.2 Entstehungstheorien	6
1.6.3 Schlaf und Erinnerungsverfälschungen	8
1.7 Hypothesen	9
2 Material und Methoden	11
2.1 Kurzzeitabruf	11
2.1.1 Probanden	11
2.1.2 Experimentdesign	12
2.1.3 Experimentaufbau	12
2.1.4 Ablauf	17
2.1.5 Polysomnographie	21
2.1.6 <i>Actiwatch</i>	21
2.1.7 Debriefing	21
2.1.8 Kontrolltests	22
2.2 Langzeitabruf	23
2.2.1 Probanden	23
2.2.2 Präsentationsaufbau	23
2.2.3 Ablauf	25
2.2.4 <i>Eye Tribe Tracker</i>	26
2.2.5 Kontrolltests	26

2.2.6	Debriefing	26
2.3	Auswertung der Daten	26
2.3.1	Probandenausschluss	26
2.3.2	Polysomnographie	27
2.3.3	Statistische Analyse	27
3	Ergebnisse	29
3.1	Kurzzeitabruf	29
3.1.1	Verhaltensdaten der Figurensets	29
3.1.2	Zirkadianeffekte	35
3.1.3	Schlafparameter	35
3.2	Langzeitabruf	35
3.3	Kontrollvariablen	40
3.3.1	Kurzzeitabruf	40
3.3.2	Langzeitabruf	42
4	Diskussion	43
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	43
4.2	Einordnung in vorbestehende Literatur	44
4.3	Entstehung von Erinnerungsverfälschungen: fuzzy trace vs. spreading activation	46
4.4	Episodisches Gedächtnis und REM-Schlaf	48
4.5	Veränderung von Gedächtnisspuren über multiple Schlafzyklen und Gist-Abstraktion	48
4.6	Informationsüberlappung zur Abstraktion im Schlaf	50
4.7	Einfluss von Zeit auf die Gist-Abstraktion	52
4.8	Kritische Bewertung der Ergebnisse	55
4.9	Ausblick	56
5	Zusammenfassung	58
6	Literaturverzeichnis	60
A	Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	66
B	Publikation	67
C	Danksagung	68

D Anhang

69

Abbildungsverzeichnis

1.1	Darstellung physiologischer Schlafarchitektur.	3
2.1	Auszug aus einem Figureset mit Prototyp und vier dazugehörigen Figuren.	14
2.2	Figurenpräsentation der Enkodierung und des Kurzzeitabrufs. . .	16
2.3	Experimentablauf des Kurzzeitabrufs; Gegenüberstellung der Schlafbedingung und der Abendbedingung.	20
2.4	Experimentablauf des Kurzzeitabrufs; Gegenüberstellung der Wachbedingung und der Morgenbedingung.	20
2.5	Figurenpräsentation des Langzeitabrufs.	25
3.1	Wiedererkennungsraten nichtgelernter Prototypen, gelernter alter Figuren und nicht gelernter neuer Figuren im Vergleich zwischen der Schlaf- und der Wachbedingung.	31
3.2	Wiedererkennungsraten nichtgelernter Prototypen, gelernter alter Figuren und nicht gelernter neuer Figuren im Vergleich zwischen der Abend-/Morgenbedingung.	32
3.3	Wiedererkennungsraten erlernter alter Figuren mit großer Sicherheit (3 und 4 auf einer Skala von 1 bis 4, 1: sehr unsicher, 4: sehr sicher) und „erinnern“ im Vergleich zwischen der Schlaf-/Wachbedingung und der Abend-/Morgenbedingung.	33
3.4	REM-Schlaf (in Prozentanteil und absoluten Minuten) in Korrelation mit den Erkennungsraten von alten Figuren, die mit großer Sicherheit (3 und 4) und „erinnern“ bewertet wurden.	34
3.5	Wiedererkennungsraten in der <i>two-alternative-forced-choice</i> Aufgabe (2AFC) im Langzeitabruf.	37
3.6	<i>Eye Tracker</i> Daten der 2AFC Aufgabe im Langzeitabruf.	39
4.1	Gist-Abstraktion durch Reaktivierung von überlappenden Erinnerungen	51

Tabellenverzeichnis

3.1	Wiedererkennungsraten der Schlaf-/Wachbedingung sowie der Abend-/Morgenbedingung, Angabe der subjektiven Sicherheit bei der Wiedererkennung und Beurteilung der wiedererkannten Figuren mit „erinnern“/„wissen“/„raten“-Bewertungen im Kurzzeitabruf.	36
3.2	Kontrollvariablen aller Probanden der Abend-/Morgenbedingung und der Schlaf-/Wachbedingung für die Enkodierung und den Kurzzeitabruf.	41

Abkürzungsverzeichnis

2AFC	two-alternative-forced-choice
ANOVA	analysis of variance
DRM	Deese–Roediger–McDermott
EEG	Elektroenzephalographie
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulografie
Hz	Hertz
iOtA	information Overlap to Abstract
min	Minuten
mPFC	medialer Präfrontalkortex (englisch medial prefrontal cortex)
NREM	non-rapid-eye movement
PGO Wellen	Ponto-Geniculo-Occipitale Wellen
PSG	Polysomnographie
REM	rapid-eye movement
RWT	Regensburger Wortflüssigkeitstest
SEM	standard error of the mean
SSS	Stanford Sleepiness Scale
SWS	slow wave sleep

1 Einleitung

1.1 Gedächtniskategorien

Die gängigste Einteilung von Gedächtnis basiert auf einer Unterscheidung zwischen deklarativem und nicht-deklarativem Gedächtnis (Squire und Zola, 1996).

Deklaratives Gedächtnis umfasst sogenanntes Faktenwissen („*Wissen, was*“ und bewusste (explizite) Reproduktion dessen). Häufig wird dieses wiederum in episodisches (lebhaftes Erinnerung an Erlebnisse der eigenen Vergangenheit) und semantisches Gedächtnis (generelles Wissen über die Welt) eingeteilt (Tulving, 1985). Episodisches Gedächtnis besteht sowohl aus einem Gefühl der Bekanntheit für das Erlebte als auch der Möglichkeit, vergangene Ereignisse in Gedanken wiederzuerleben (Moscovitch et al., 2006). Dazu wird das Erlebte mit bestimmten Kontextinformationen verbunden, wie z.B. zeitlichen und örtlichen Umständen (Tulving, 2002). Somit sind episodische Erinnerungen reich an Kontextdetails (Yassa und Reagh, 2013). Unter dem Begriff semantisches Gedächtnis werden generelle Erinnerungen über Sprache, die Welt und Informationen über die eigene Person zusammengefasst. Semantische Erinnerungen sind im Gegensatz zu episodischen detailarm. Sie stellen somit einen Wissensschatz dar, der sich erst im Laufe der Zeit und durch multiple Wiederholungen entwickelt (Moscovitch et al., 2006). Als wichtiger Speicherort des deklarativen Gedächtnisses wurden der Mediotemporallappen und der Hippocampus vorgeschlagen (Eichenbaum, 2000). Deklarative Informationen werden schnell enkodiert, vor allem wenn diese in bereits bestehende Netzwerke integriert werden können, allerdings können sie auch schneller wieder durch Interferenz oder Konsolidierungsprozesse verloren gehen oder verfälscht werden (Payne et al., 2012; Talamini und Gorree, 2012; Tse et al., 2007; Kesteren et al., 2012).

Nicht-deklaratives Gedächtnis kann dagegen nicht bewusst (implizit) reproduziert werden. Dazu zählen prozedurales Gedächtnis („*Wissen, wie*“) und das Antrainieren von Fähigkeiten und Gewohnheiten im Rahmen von Konditionierung und Priming. Diese Gruppe scheint weniger abhängig von mediotemporalen Strukturen zu sein (Walker und Stickgold, 2004). Stattdessen spielen z.B.

in Bezug auf motorische Fertigkeiten kortiko-striatale und kortiko-zerebelläre Schleifen eine wichtige Rolle. Um Fähigkeiten zu erlernen, müssen diese häufig trainiert werden. Sobald sie automatisiert sind, verbleiben sie relativ stabil über längere Zeit (Marshall und Born, 2007).

Außerhalb von Laborbedingungen ist jedoch selten nur ein Gedächtnisaspekt aktiv, meistens erfordert die Komplexität alltäglicher Aufgaben ein fein abgestimmtes Zusammenspiel.

1.2 Gedächtnisprozesse

Eine Erinnerungsspur durchläuft mehrere Stadien bis zur stabilen Repräsentation, beginnend mit der Aufnahme neuer Informationen und der Enkodierung in eine instabile Repräsentationsform (Kandel et al., 2012). Dieser Prozess geschieht bereits in Millisekunden (Stickgold und Walker, 2007). Die Repräsentation wird in der nachfolgenden Konsolidierung gegen Degradierung stabilisiert, verstärkt und in Langzeitnetzwerke integriert (Marshall und Born, 2007). Diese Modifikationen während der Konsolidierung sind ein Prozess, der sich über längere Zeit erstreckt und dabei automatisch und unbewusst abläuft.

Konsolidierung ist nicht nur notwendig um einen Abruf zu gewährleisten, sondern modifiziert auch unser Verhalten. Wichtige Informationen können extrahiert werden, wodurch ein schnellerer Abruf ermöglicht wird, oder neue Informationen in vorbestehende Netzwerke integriert werden und so zu neuen Erkenntnissen und kreativem Denken führen (Wagner et al., 2004; Tse et al., 2007).

1.3 Schlafstadien

Während des Schlafens wechseln sich im Verlauf einer Nacht Non-Rapid-Eye-Movement-Schlaf (NREM-Schlaf) und Rapid-Eye-Movement-Schlaf (REM-Schlaf) ab. Ein Zyklus dauert ca. 90 min und beinhaltet NREM- sowie REM-Schlaf, wobei sich das Verhältnis der beiden über die Nacht verändert. Zum Non-REM-Schlaf (NREM-Schlaf) werden die Schlafstadien 2, 3 und 4 gezählt. Die Schlafstadien werden jeweils über Frequenzmuster der EEG-Wellen definiert (Rechtschaffen und Kales, 1968). In der ersten Hälfte der Nacht dominieren Stadien 3 und 4, während in der zweiten Hälfte REM-Schlaf und Stadium 2

den größten Anteil haben (Rechtschaffen und Kales, 1968). Für eine Darstellung physiologischer Schlafarchitektur siehe Abbildung 1.1.

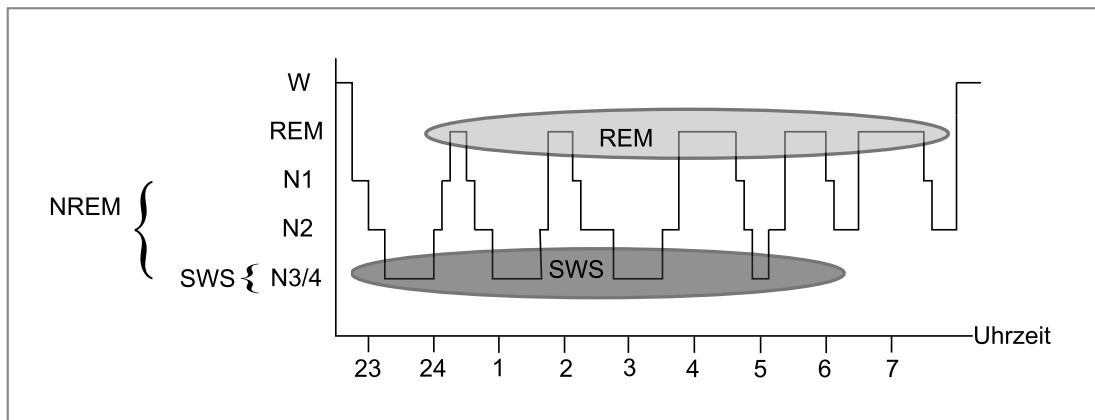


Abbildung 1.1: **Darstellung physiologischer Schlafarchitektur.** Verteilung von Schlafphasen im Verlauf einer Nacht. In der ersten Hälfte dominieren NREM-Phasen, in der zweiten REM-Phasen. SWS wird durch *slow-wave activity* in den Frequenzen 0,5 - 4 Hertz (Hz) charakterisiert, wobei Wellen < 1 Hz als langsame Oszillationen und 1 - 4 Hz Wellen als Delta Wellen bezeichnet werden. REM Schlaf wird durch ein niedrigamplitudiges EEG mit gemischten, schnelleren Frequenzen (Theta Wellen mit 3 - 8 Hz gekennzeichnet. Graphik in Anlehnung an Inostroza und Born (2013).

Stadium 1 wird durch eher niedrigamplitudige Frequenzen ohne *rapid eye movements* (REM) charakterisiert. In Stadium 2 kommen ebenfalls eher niedrigamplitudige EEG Muster gemischter Frequenzen vor (Rechtschaffen und Kales, 1968). Zusätzlich sind hier bestimmte EEG Muster wie Spindeln mit kurzen, synchronisierten 12 - 15 Hz Oszillationen und K-Komplexen als biphasische Welle mit hoher Amplitude typisch (Steriade und Amzica, 1997; Inostroza und Born, 2013). Tiefschlaf (englisch *slow wave sleep*, kurz SWS), also die Schlafstadien 3 und 4, werden durch hochamplitudige Delta-Wellen und langsame Oszillationen mit < 1 Hz charakterisiert (Rechtschaffen und Kales, 1968). Delta Wellen mit 0,5 - 4 Hz beginnen im Neokortex und können mit Spindeln und *sharp wave ripples* (hochfrequente 100 - 300 Hz Wellen, die zusammen mit spitzen Wellen im Hippocampus vorkommen) im SWS (*slow wave sleep*) auftreten (Amzica und Steriade, 1995; Mölle et al., 2006). Durch die hochfrequenten EEG-Muster, welche denen der Wachaktivität ähneln, ist REM-Schlaf auch als paradoxer Schlaf bekannt. Dabei werden typischerweise Theta Wellen (3 - 8 Hz) beobachtet (Llinas und Ribary, 1993). REM-Schlaf wird von schnellen Augenbewegungen (*rapid eye movements*) und einer globalen Muskelatonie begleitet (Chase und Morales, 1990). Bei Tieren konnten

außerdem Ponto-Geniculo-Occipitale-Wellen (PGO Wellen Wellen) beobachtet werden, welche kurz vor und während REM-Schlaf-Phasen vorkommen und sich als phasische Feldpotentiale von der Pons über den Corpus geniculatum laterale und den Okzipitalkortex ausbreiten (Callaway et al., 1987).

1.4 Offline-Konsolidierung im Schlaf

Während in den Anfängen der Schlafforschung eine rein passive, protektive Rolle von Schlaf auf das Gedächtnis durch fehlende Wachinterferenz mit Neuinformationen diskutiert wurde, deuten Experimente, in denen auch ein gedächtnisleistungverstärkender Effekt von Schlaf festgestellt wurde, auf eine zusätzliche aktive Rolle von Schlaf bei der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten hin (Ellenbogen et al., 2006; Gais et al., 2006; Plihal und Born, 1997; Rasch und Born, 2007). In einer der ersten Studien, bei der eine verbesserte Gedächtnisleistung für deklaratives Gedächtnis nach Schlaf festgestellt wurde, wurde weniger Vergessen von Nonsenssilben nach Schlaf im Vergleich zu Wachheit beobachtet (Jenkins und Dallenbach, 1924). Seitdem wurde eine verbesserte Gedächtnisleistung nicht nur für das deklarative, sondern auch für das nicht-deklarative Gedächtnis berichtet, zusammen mit einer größeren Stabilität gegenüber Interferenz, einer besseren Integration in Netzwerke, erleichtertem Erreichen einer hippocampusunabhängigen, kortikalen Langzeitrepräsentation, erleichterten assoziativen Leistungen und Einsicht in versteckte Regeln sowie Generalisierung von Gelerntem (Barsky et al., 2015; Cai et al., 2009; Ellenbogen et al., 2009; Gais et al., 2007; Tamminen et al., 2013; Wagner et al., 2004).

1.5 Aktive Systemkonsolidierung und Zwei-Ebenen-Modell

Das Zwei-Ebenen-Modell erklärt den Ablauf der Konsolidierung von Neuinformationen (Buzsáki, 1989). Zu Beginn werden Neuinformationen in zwei Speicher parallel enkodiert. Der eine Speicher nimmt schnell Neuinformationen auf, behält diese aber auch nur temporär. Für deklarative Informationen übernimmt der Hippocampus diese Funktion. Der andere Speicher lernt langsamer, stellt dafür aber einen Langzeitspeicher dar. Deklarative Informationen werden als Langzeitrepräsentation im Neokortex gespeichert. Während nächtlicher Konsolidierung werden kürzlich enkodierte Informationen im Kurzzeitspeicher wieder-

holt reaktiviert. Durch eine verstärkte Kommunikation zwischen Kurzzeit- und Langzeitspeicher im Schlaf werden konsekutiv auch Erinnerungsspuren im Langzeitspeicher reaktiviert (Girardeau et al., 2009; Rasch et al., 2007; Rasch und Born, 2007). Dadurch werden Langzeitrepräsentationen gestärkt und werden im Verlauf unabhängig vom Kurzzeitspeicher (Gais et al., 2007). Zusätzlich wird die Extrahierung wichtiger und häufig reaktiverter Spuren unterstützt (Inostroza und Born, 2013; Lewis und Durrant, 2011). So könnte die positive Wirkung von Schlaf auf assoziative Leistungen und Einsicht in versteckte Regeln sowie Generalisierung von Gelerntem erklärt werden (Cai et al., 2009; Cairney et al., 2011; Sterpenich et al., 2014; Wagner et al., 2007).

Es wurde ein positiver Einfluss von SWS zusammen mit hippocampalen *sharp wave ripples* und Spindeln während der Reaktivierung gelernter Informationen auf die Erinnerungsleistung festgestellt (Rasch et al., 2007; Tamminen et al., 2013). Auch die niedrigen cholinergen Spiegel während des Schlafens scheinen ein wichtiger Bestandteil einer effektiven Konsolidierung im Schlaf zu sein (Gais und Born, 2004). Mit der Abnahme der führenden Rolle des Hippocampus in der Erinnerungsspeicherung geht gleichzeitig eine zunehmende Unabhängigkeit von neokortikalen Netzwerken einher, die auch in der Bildgebung beobachtet wurde (Gais et al., 2007). Durch die Reaktivierung von Gelerntem im Schlaf werden gespeicherte und reaktivierte Informationen keiner Interferenz mit Neuerlebnissen ausgesetzt (Payne et al., 2012). Eine Studie an Mäusen lieferte außerdem erste Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen REM-Schlaf und der Konsolidierung von kontextuellen Erinnerungen (Boyce et al., 2016).

1.6 Erinnerungsverfälschungen

Während die Enkodierung, Konsolidierung und der Abruf von Informationen in den meisten Lebenssituationen ein angepasstes, flexibles System darstellen, passieren leider während der Weiterverarbeitung von Informationen im Gehirn auch Fehler. Wichtiges kann vergessen werden oder wir erinnern uns an Erlebnisse, die wir so nie erlebt haben. Diese sogenannten Erinnerungsverfälschungen werden teilweise sehr lebhaft erinnert (Roediger III et al., 2004). Ein Beispiel für Erinnerungsverfälschungen außerhalb von Laborbedingungen sind Zeugenaussagen, in denen sich Zeugen an Personen oder Begebenheiten zu erinnern meinen, diese aber so nicht erlebt haben. Die Richtigkeit von

Zeugenaussagen bzw. deren Gedächtnis kann durch eine Reihe von Faktoren, wie Befragungsart und -häufigkeit oder nachträgliche Missinformationen über Zeitungen, beeinflusst werden (Wells und Olson, 2003).

1.6.1 Erinnerungsverfälschungen unter Laborbedingungen

Eines der ersten Experimente, in dem solche Erinnerungsverfälschungen unter Laborbedingungen sicher erzeugt werden konnten, ist das Deese-Roediger-McDermott (DRM) Paradigma (Deese, 1959). Aufgrund der einfachen Generierung von hohen Raten an Erinnerungsverfälschung basieren viele Entstehungstheorien auf experimentellen Variationen des DRM Paradigmas. Dabei lernen die Probanden Wortlisten, die semantisch stark assoziierte Wörter beinhalten, wie beispielsweise „Nase“, „Atem“, „Gestank“, „Parfüm“. Jede Wortliste dreht sich jeweils um ein Thema, in diesem Fall wäre das der Überbegriff „Geruch“ (Stadler et al., 1999). Der Abruf kann entweder als Wiedererkennungsaufgabe gestaltet werden, bei der die Probanden gelernte Wörter von neuen unterscheiden sollen, oder als freier Abruf, in dem die Probanden alle gelernten Wörter, an die sie sich noch erinnern, aufschreiben sollen. Die Probanden erinnerten sich nicht nur an gelernte Wörter („Nase“), sondern mit hohen Erinnerungsraten auch an das jeweilige Thema („Geruch“) der gelernten Wortlisten, also an die experimentell erzeugten Erinnerungsverfälschungen (Diekelmann et al., 2008; Roediger III et al., 2004). Das DRM Paradigma wurde mit der Zeit weiterentwickelt. Dabei wurde die Länge der Wortlisten variiert und die Listen auditiv oder nonverbal enkodiert (Diekelmann et al., 2008; Sugrue und Hayne, 2006; Roediger III et al., 2004). Es wurden auch andere Ansätze entwickelt, um Erinnerungsverfälschungen experimentell hervorzurufen, wie z.B. mittels Szeneriebildern oder, wie auch in unserem Experiment, einer Reihe abstrakter, semantisch assoziierter Figuren (Miller und Gazzaniga, 1998; Slotnick und Schacter, 2004).

1.6.2 Entstehungstheorien

Generell können Fehler auf allen Ebenen der Informationsverarbeitung entstehen: während der Enkodierung, im Verlauf der Konsolidierung oder beim Abruf der gespeicherten Informationen (Deese, 1959; Diekelmann et al., 2010; Roediger III et al., 1996). Die wichtigsten Theorien zur Entstehung von Erinnerungsverfälschungen sind die *fuzzy trace theory* und die *spreading activation theory/monitoring theory* (Reyna und Brainerd, 1998; Roediger III et al.,

2001). Durch Missinformationen mit retroaktiver Interferenz sowie mentale Visualisierung können ebenfalls lebhaftere Erinnerungsverfälschungen entstehen (Gonsalves et al., 2004; Roediger III et al., 1996). Möglicherweise führen je nach Aufgabenstellung des Experiments jeweils verschiedene Mechanismen zu Erinnerungsverfälschungen, wofür auch eine Studie von Coane et al. (2016) spricht, in welcher mit assoziativen gegen semantisch/thematisch-ähnliche Wortlisten getestet wurde. Beide erzeugten Erinnerungsverfälschungen, wobei die meisten Verfälschungen durch semantische Ähnlichkeit im Sinne einer DRM-Wortliste erzeugt wurden.

Schacter et al. (2011) sehen Erinnerungsverfälschungen, wie sie im DRM Paradigma experimentell oder bei Zeugenaussagen außerhalb von Laborbedingungen entstehen, als Teil eines ansonsten effizient arbeitenden Gedächtnissystems. Dabei sei fehlerhaftes Wiedererkennen im Sinne von *spreading activation* ein Nebeneffekt effektiver Informationsverarbeitung, die in den meisten Fällen durch erhöhte Struktur und Organisation gespeicherter Erinnerungen zu besserer Erinnerungsleistung führt. Zusätzlich schlagen die Autoren Erinnerungsverfälschungen im Sinne der *fuzzy trace Theorie* als Nebeneffekt von Prozessen vor, die eine Abstrahierung und Generalisierung von Informationen erleichtern.

Diese Theorie wird durch Beobachtungen an Patienten mit Amnesie unterstützt, bei denen Erinnerungsverfälschungen deutlich seltener auftraten. Im Rahmen der Schädigungen kann eine gesunde Erinnerungsverarbeitung nicht mehr stattfinden, wodurch auch Erinnerungsverfälschungen weniger vorkommen (Verfaellie et al., 2002). Des Weiteren wurden in bildgebungsgestützten Studien größere überlappende Areale, die sowohl beim Abruf korrekter als auch auf der Gist basierender Erinnerungen aktiv waren, festgestellt (Garoff-Eaton et al., 2006; Slotnick und Schacter, 2004). Außerdem wurde ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß von Erinnerungsverfälschungen und einer frühen Hippocampusaktivierung während der Informationsenkodierung beobachtet. Das deutet auf eine starke Abhängigkeit der Erinnerungsleistung sowohl für korrekte als auch für semantisch assoziierte Erinnerungen von der Enkodierungsstrategie hin (Darsaud et al., 2011). Diekelmann et al. (2011) stellten nach Cortisol-Gabe nicht nur eine Verminderung von korrektem Wiedererkennen, sondern auch von Erinnerungsverfälschungen fest, was ebenfalls auf die Entstehung von Erinnerungsverfälschungen im Rahmen physiologischer Gedächtnisprozesse hindeutet. Zusammenhänge zwischen der Anfällig-

keit für Erinnerungsverfälschungen und kreativem assoziativem Denken wurden ebenfalls experimentell gefunden. Dies könnte wiederum bei kreativem Problemlösen nützlich sein (Dewhurst et al., 2011; Howe et al., 2011). Auch die *competitive trace theory* (CTT) sieht Erinnerungsverfälschungen als ein Nebenprodukt von Reaktivierungen der Erinnerungsspuren, welche zu Rekonstruktionen der ursprünglichen Spuren führen. Mit wiederholten Reaktivierungen nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass solche Rekonstruktionen auftreten, zu, während die Rate an korrekt erinnerten Details abnimmt. Zusätzlich dazu werden Erinnerungsspuren im Laufe der Zeit zunehmend dekontextualisiert, wobei durch wiederkehrende Reaktivierungen nur der semantische Kern des Erlebten, also die Gist, übrigbleibt (Yassa und Reagh, 2013).

1.6.3 Schlaf und Erinnerungsverfälschungen

Der Einfluss von Schlaf auf Erinnerungsverfälschungen war in den letzten 15 Jahren zunehmend Gegenstand experimenteller Forschung. Viele Studien fanden einen verstärkenden Einfluss von Schlaf, einige jedoch auch einen mindernden Einfluss (Darsaud et al., 2011; Diekelmann et al., 2010; Fenn et al., 2009; Frenda et al., 2014; Lo et al., 2014; McKeon et al., 2012; Payne et al., 2009). Generell scheint die Gedächtnisleistung nach Schlaf nicht nur von Konsolidierungsprozessen (und damit verbunden der Schlafdauer, der Anzahl von Nächten, dem Zeitabstand zwischen Wach- und Schlafanteilen), sondern auch stark von den präsentierten Stimuli und der Abrufart (Wiedererkennung vs. freier Abruf) abzuhängen und so die Ergebnisse zu modulieren (Diekelmann et al., 2008; Diekelmann et al., 2009; Diekelmann et al., 2010; Schacter et al., 2011).

Erhöhte Erinnerungsverfälschungen wurden vor allem in Experimenten, die Erinnerungen frei abrufen lassen, festgestellt: Diekelmann et al. (2010) haben vermehrte Erinnerungsverfälschungen nach 9 Stunden Pause mit Schlaf zwischen Enkodierung und Abruf gefunden, allerdings nur für Probanden, deren Gedächtnisleistung generell schlechter war. Diese Ergebnisse stimmen mit einigen anderen überein (McKeon et al., 2012; Payne et al., 2009). Darsaud et al. (2011) fanden in einem DRM-Wiedererkennungstest ebenfalls einen Trend für erhöhte Erinnerungsverfälschungen nach Schlaf, zusammen mit einer erhöhten Wiedererkennungsrates an gelernten Wörtern, wobei es keinen signifikanten Schlafeffekt für Erinnerungsverfälschungen gab. Die Ergebnisse wurden als generelle Gedächtnisleistungssteigerung nach Schlaf inklusive erhöhter Erinnerungsverfälschungen interpretiert. Eine Reihe von Studien, die alle auf

Wiedererkennungsraten von Erinnerungsverfälschungen getestet haben, fanden jedoch auch negative Effekte von Schlaf auf Erinnerungsverfälschungen, was einem besseren Detailgedächtnis nach Schlaf entspricht (Lo et al., 2014; Fenn et al., 2009; Frenda et al., 2014).

1.7 Hypothesen

Nach wie vor ist unklar, ob Schlaf durch ein verbessertes Detailgedächtnis Erinnerungsverfälschungen vermindert oder durch eine erleichterte Abstraktion des Erlebten Verfälschungen fördert.

Um den Einfluss von Schlaf auf die Gist-Abstraktion und damit verbundene Erinnerungsverfälschungen zu testen, soll in unserem Experiment ein nonverbales, visuelles Figurenparadigma angewendet werden (Slotnick und Schacter, 2004). Während das klassische DRM Paradigma stark auf bereits erstellten semantischen Schemata beruht, sollen Probanden für das verwendete Figurenparadigma durch Abstraktion neue Schemata für die Figuren entwickeln. Dabei sollen auf der Gist basierende Erinnerungsverfälschungen hervorgerufen werden (Lewis und Durrant, 2011). Mehrere Studien beobachteten, dass eine Nacht Schlaf möglicherweise nicht genügend sei um eine objektiv nachweisbare Dekontextualisierung von Erlebtem zu erzeugen (Deliens et al., 2013a; Jurewicz et al., 2016; Sweegers und Talamini, 2014). In unserem Experiment sollen deshalb zuvor gelernte, abstrakte Figuren nach 20 Minuten, nach 10 Stunden und nach einem Jahr im Vergleich zwischen Schlaf- und Wachbedingung abgerufen werden. Dadurch kann der Effekt von einer Schlafnacht mit dem Effekt von multiplen Nächten auf Erinnerungsverfälschungen, die auf der Gist des Erlebten basieren, verglichen werden (Talamini und Gorree, 2012).

In Übereinstimmung mit vorherigen Studien, in denen eine verbesserte Gedächtnisleistung nach Schlaf beobachtet wurde, vermuten wir verbesserte Wiedererkennungsraten nach Schlaf (Ellenbogen et al., 2006; Gais et al., 2006; Plihal und Born, 1997; Rasch und Born, 2007).

Die Entwicklung von Erinnerungsverfälschungen über Langzeit und ein Zusammenhang mit Schlaf wurden bisher kaum untersucht. Wagner et al. (2006) stellten einen verstärkenden Effekt von drei Stunden Schlaf nach Enkodierung von emotionalen Texten fest, der nach einer Zeitspanne von vier Jahren zwischen Enkodierung und Abruf zu erhöhter Gedächtnisleistung für emotionale

vs. neutrale Texte geführt hat. Wir vermuten somit einen stabilisierenden Effekt von Schlaf auf die Langzeitgedächtnisleistung. Zusätzlich haben wir die Hypothese, dass in der ersten Schlafnacht ein Generalisationsprozess initiiert wird, welcher analog zur Studie von Wagner et al. (2006) zu einer stabilen Gist-Spur in der Langzeittestung der Schlafbedingung nach einem Jahr führt. Wir nehmen also an, dass sich der stabilisierende und stärkende Effekt von Schlaf auf Gedächtnisspuren auch noch nach einem Jahr für Erinnerungsverfälschungen nachweisen lässt.

Episodische Gedächtnisinhalte können mit der Zeit dekontextualisiert werden und dadurch an Details verlieren (Cox et al., 2014; Deliens et al., 2013a; Deliens und Peigneux, 2014; Yassa und Reagh, 2013). Laut *competitive trace theory* liege die höchste Rate an detailreichen, episodischen Erinnerungen zum Zeitpunkt der Enkodierung vor. Im Laufe der Zeit würden Erinnerungsspuren zunehmend semantisiert werden und an Details verlieren, es bleibe nur die Gist übrig (Yassa und Reagh, 2013). Demnach vermuten wir im Kurzzeitabruf (nach 20 Minuten und 10 Stunden) eine hohe Rate an episodischem Gedächtnis und im Langzeitabruf (nach einem Jahr) vor allem semantische Erinnerungsspuren inklusive einer durch Schlaf stabilisierten Gist-Spur des Erlebten.

2 Material und Methoden

2.1 Kurzzeitabruf

Die Experimente wurden in den Schlaflaboren des Instituts für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie in der Otfried-Müller-Straße 25 durchgeführt. Insgesamt standen dort vier Schlaflabore zur Verfügung, wobei darauf geachtet wurde, dass Probanden die Eingewöhnungsnacht und die Schlafnacht in demselben Schlafraum verbrachten. Die Erhebung des Kurzzeitabrufs fand vom Juni 2014 bis Februar 2015 statt, die des Langzeitabrufs von Oktober bis Dezember 2015.

2.1.1 Probanden

Rekrutierung

Die Probanden wurden durch Aushänge in öffentlichen Universitätsräumen und eine Universitätsrundmail rekrutiert. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und wurde mit einem üblichen Stundenlohn vergütet. Probanden wurden jeweils abhängig von der Gruppenzuteilung mit einer Probandeninformation über den Ablauf der Studie informiert.

Ein-/Ausschlusskriterien

Es wurden Probanden im Alter zwischen 18 und 30 Jahren getestet. Als Ausschlusskriterium galt ein übermäßiger täglicher Koffeinkonsum, da mindestens zwei Tage Abstand zwischen Koffeinkonsum und Experimentaltagen liegen sollten. Außerdem wurden Probanden mit regelmäßigem Alkoholkonsum (öfters als zweimal wöchentlich), mittel- oder hochgradiger Schwerhörigkeit und schweren körperlichen Erkrankungen in den letzten vier Wochen vor Beginn der Studie von der Teilnahme ausgeschlossen. Auch neurologische oder psychiatrische Erkrankungen, die eine stationäre Behandlung erforderten, waren ein Ausschlusskriterium. Die Informationen wurden dabei nur anamnestisch erhoben.

Der Visus lag laut Selbstauskunft der Probanden bei 100 %, teilweise mit Korrektur durch eine Brille oder Kontaktlinsen. Die Probanden hatten laut Selbst-

auskunft einen regelmäßigen Schlaf-Wachrhythmus ohne Nachtarbeit und nahmen abgesehen von hormoneller Kontrazeption keine weiteren Medikamente regelmäßig ein. Für die Kontrolltests wurde außerdem das Sprachniveau eines Deutschmuttersprachlers benötigt. Zwischen der Teilnahme an unserer und an anderen Studien sollten des Weiteren mindestens zwei Wochen liegen.

Gruppeneinteilung

Insgesamt wurden 32 Probanden rekrutiert, davon nahmen 16 Probanden an der Schlaf-/Wachbedingung (davon 8 weiblich) und 16 an der Abend-/Morgenbedingung (davon 8 weiblich) teil. Jeder Proband nahm an zwei Bedingungen (Schlaf-/Wachbedingung oder Abend-/Morgenbedingung) teil, was einem gemischten Design der Studie entspricht.

2.1.2 Experimentdesign

Zwischen beiden Experimentaltagen lagen mindestens zwei Wochen Zeitabstand, um eine Interferenz der Figurensets zu reduzieren. Die ersten sieben Probanden wurden im Rahmen eines Pilotprojekts der Schlaf-/Wachbedingung zugeteilt. Alle anderen Probanden wurden danach durch Münzwurf (Kopf entsprach der Schlaf-/Wachbedingung, Zahl entsprach der Abend-/Morgenbedingung) eingeteilt. Die Zuordnung der Probanden zur Probandennummer und Figurensetreihenfolge (Beginn mit Figurenset A oder B) sowie die Auswahl der Anfangsbuchstaben für die Wortflüssigkeitstests erfolgte durch eine pseudo-randomisierte Tabelle, in die die Probanden chronologisch eingetragen wurden.

2.1.3 Experimentaufbau

Figuren und Figurensets

Für die Enkodierung wurden Figurensets eines nonverbalen visuellen DRM-Paradigmas übernommen, das in Slotnick und Schacter (2004) verwendet wurde. Dabei wurden abstrakte Figuren mittels eines Skripts in *MATLAB [The Mathworks Inc.]* entworfen. Jede Figur wurde mit Linien in einer zufällig gewählten Farbe und Orientierung gefüllt. Danach wurde diese abstrakte Prototypfigur zehnmal leicht abgeändert, sodass ein Figurenset aus zehn abgeänderten Figuren und einem dazugehörigen Prototypen, sozusagen der Ursprungsfigur, entstand. Dabei blieb die Farbgebung sowie die Orientierung der

Fülllinien innerhalb eines Figurensets gleich. Ein Auszug aus einem solchen Figurensatz ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Da jeder Proband im Rahmen des Innersubjekt-Designs der Studie an insgesamt zwei Enkodierungen und Abrufen der Figuren teilnahm, wurden zwei Figurensatz-Kombinationen (Figurensatz-Kombination A und B) zusammengestellt. Sie bestanden aus möglichst unterschiedlichen Figuren, um Interferenz zu vermeiden. Mit welcher Kombination begonnen wurde, wurde für jeden Probanden vor Beginn der Experimente randomisiert. Die Präsentation der Figuren während der Enkodierung und des Abrufs wurde mit *Presentation*® [Neurobehavioral Systems Inc.] programmiert.

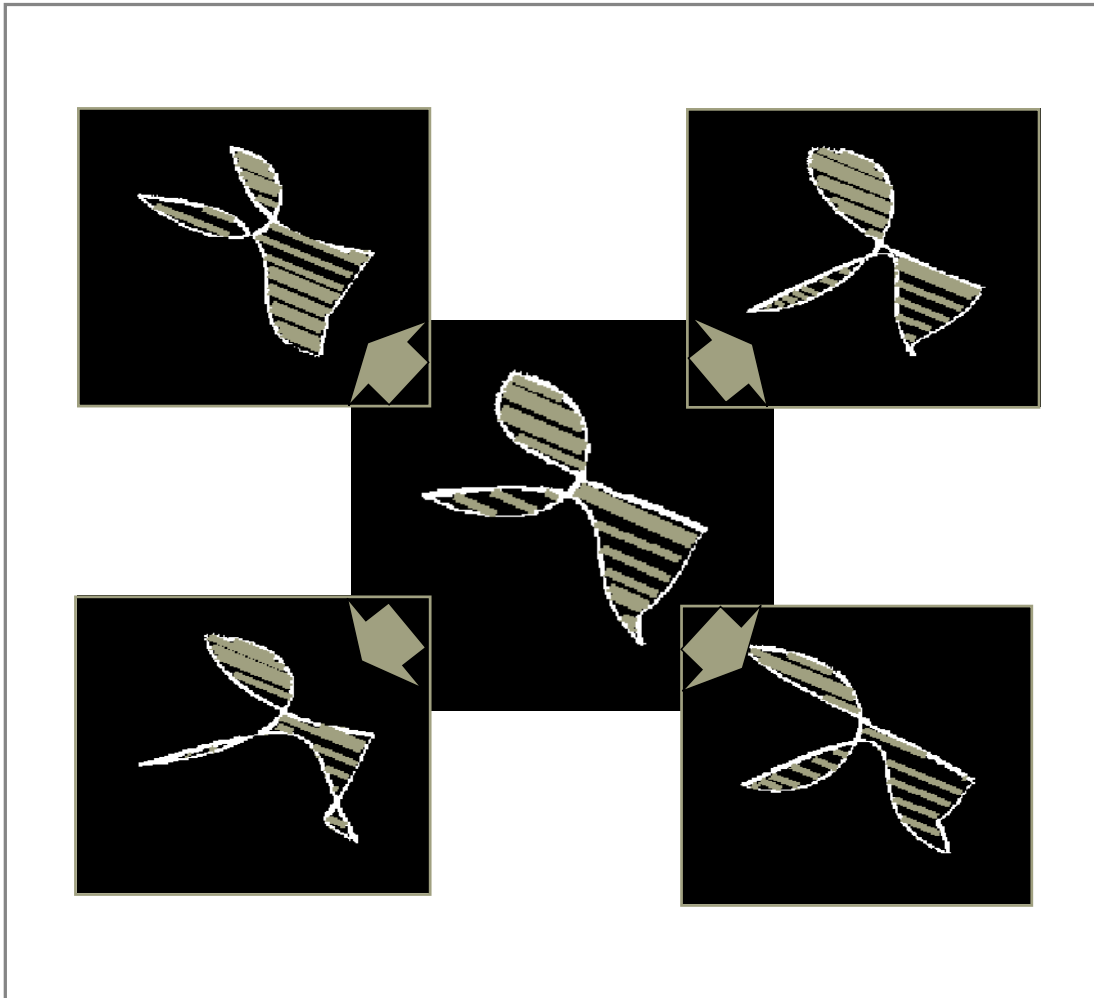


Abbildung 2.1: **Auszug aus einem Figurenset mit Prototyp und vier dazugehörigen Figuren.** Während der Enkodierung lernten Probanden 16 Figurensets mit jeweils 10 Figuren. Der Prototyp (in der Mitte dargestellt) diente als Ursprungsfigur, von der jeweils 10 Figuren abgeleitet wurden. Er stellt somit eine gemeinsame Quintessenz, die Gist, des Figurensets dar. In der Abbildung werden vier solcher abgeleiteter Figuren beispielhaft außen um den Prototypen dargestellt. Während der Enkodierung lernten Probanden nur abgeleitete Figuren, nicht aber den Prototypen.

Präsentationsaufbau Enkodierung

In der Enkodierungsphase lernten die Probanden eine Figurenset-Kombination, die aus 16 Figurensets bestand. Jedes Figurenset beinhaltete zehn Figuren, die alle von demselben Prototyp abstammten. Insgesamt wurden 160 Figuren pro Figurenset-Kombination gelernt. Der Prototyp selbst wurde nicht gelernt. Der Prototyp stellt in diesem Setting somit eine Art Quintessenz der gelernten Figuren dar, welche die Hauptinformation aller gelernten Figuren zusammenfasst. Im Folgenden wird dieser Kerninhalt von Informationen als Gist bezeichnet. Da das ursprüngliche Figurenset von Slotnick und Schacter (2004) aus fast 300 Prototypen mit dazugehörigen Figurensets bestand, wurde für diesen Experimentteil die Prototypenauswahl von einem vorhergegangenen Experiment aus unserem Institut übernommen (Diekelmann et al., 2011). Die Figuren wurden für je 2,5 Sekunden nacheinander präsentiert. Zwischen jeder gezeigten Figur lag ein *Inter-Trial-Interval* von 3 Sekunden.

Die Figurensets aus jeweils 10 Figuren wurden dabei in abwechselnder Reihenfolge auf der rechten oder linken Bildschirmhälfte präsentiert, beginnend mit dem ersten Figurenset links, dann dem zweiten Figurenset rechts, usw. Die Figurensets wurden nach einer für jeden Probanden gleichen, vorher festgelegten Reihenfolge nacheinander präsentiert. Die Probanden sollten sich die Figuren und ihre Position auf dem Bildschirm (rechts oder links) einprägen. Die Präsentation einer Figurenset-Kombination dauerte etwa 20 Minuten. Eine visuelle Darstellung der Figurenpräsentation im Kurzzeitabruf ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

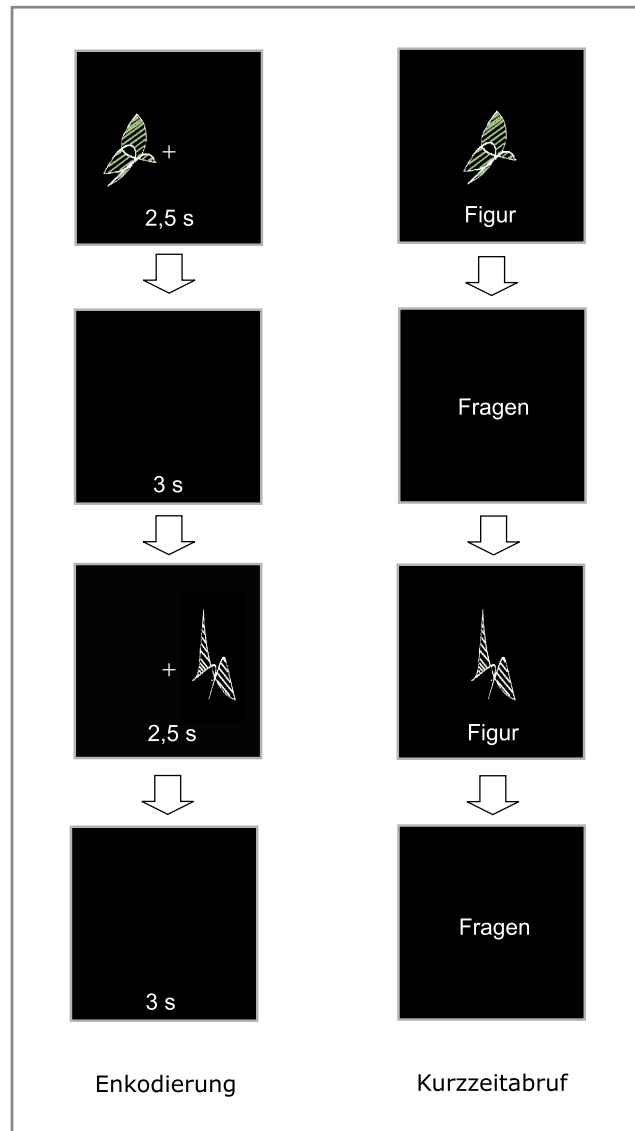


Abbildung 2.2: **Figurenpräsentation der Enkodierung und des Kurzzeitabrufs.**

Während der Enkodierung wurden den Probanden 16 Figurensätze mit jeweils 10 Figuren gezeigt. Jedes Figurensatz wurde im Wechsel rechts oder links auf dem Bildschirm präsentiert. Zur Veranschaulichung wurde jeweils nur eine Figur eines Figurensatzes in der Abbildung dargestellt, während des Experiments jedoch wurden komplette Figurensätze aus jeweils zehn Figuren nacheinander auf einer Bildschirmhälfte präsentiert. Das folgende Figurensatz aus zehn Figuren wurde dann auf der jeweils anderen Bildschirmhälfte dargestellt. Während des Kurzzeitabrufs wurden den Probanden entweder eine gelernte alte Figur, ein ungelerner Prototyp oder eine ungelernete neue Figur präsentiert. Die Probanden sollten entscheiden, ob es sich um eine neue oder alte Figur handelte und auf welcher Bildschirmhälfte diese präsentiert wurde. Außerdem sollte angegeben werden, ob die Probanden „sich erinnern“, „wissen“ oder „raten“ und wie sicher sie sich auf einer 1-4 Punkteskala seien.

Präsentationsaufbau Kurzzeitabruf

Gezeigt wurden insgesamt 80 Figuren, die von den Probanden bewertet werden sollten. Davon waren 32 Figuren alte, also während der Enkodierungsphase gezeigte, wovon jeweils 2 aus jedem gelernten Figurenset stammten. 32 Figuren waren neu, also nicht vorher gelernt worden. Diese neuen Figuren waren jeweils Prototypen aus nicht für die Enkodierung benutzten Figurenset-Kombinationen. Die restlichen 16 Figuren waren die Prototypen der jeweils in der Enkodierungsphase gelernten 16 Figurensets. Beim Abruf wurden die 80 Figuren pseudo-randomisiert und zentral auf dem Bildschirm dargestellt. Die Probanden sollten angeben, ob die gezeigte Figur „alt rechts“, „alt links“ oder „neu“ war. „Alt rechts“ bedeutet, dass diese Figur auf der rechten Seite in der Enkodierungsphase gelernt wurde, „alt links“ auf der linken Seite. „Neu“ war eine vorher nicht gesehene Figur. Um auf episodische Gedächtnisspuren zu testen, sollten Probanden angeben, ob sie sich an die Figur „erinnern“, „wissen“, dass sie sie gesehen haben oder bei ihrer Antwort „raten“. „Erinnern“ stand hierbei für detaillierte Erinnerungen, dass sie beispielsweise wussten, an was sie dachten, als sie die Figur sahen. „Wissen“ stand für reines Wissen ohne detailliertere Erinnerungen und „raten“ für Unsicherheit bei der Antwort. Schließlich sollten die Probanden auf einer Skala von 1 bis 4 angeben, wie sicher sie sich bei der ersten Frage waren (1: sehr unsicher, 4: sehr sicher). Die Kombination von „erinnern“ und den Sicherheitsangaben „3“ und „4“ deuteten wir als detaillierte episodische Erinnerungen. Beim Abruf gab es keine Zeitgrenze für die Antworten, die Probanden wurden aber instruiert, so schnell und so richtig wie möglich zu antworten.

2.1.4 Ablauf

Schlaf-/Wachbedingung

Die Schlafbedingung begann mit einer Eingewöhnungsnacht, in der den Probanden um 21:00 Uhr die EEG-Elektroden angebracht wurden. Von 23:00 Uhr bis 7:00 Uhr (insgesamt 8 Stunden) durften sie ungestört schlafen. In der Experimentnacht, die mindestens eine Nacht Abstand zur Eingewöhnungsnacht hatte, wurden ebenfalls um 21:00 Uhr die EEG-Elektroden angebracht. Um 22:00 Uhr wurde das Experiment mit den Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge: Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*, Vigilanztest, Stanford Sleepiness Scale (SSS)) begonnen. Zur genaueren Erklärung der einzelnen Kontrolltests siehe 2.1.8. Ungefähr von 22:30 Uhr bis 23:00 Uhr lernten die Pro-

banden dann ein Figurenset. Im Anschluss an die Lernphase wurde ein weiteres Mal die Müdigkeit mit der SSS abgefragt. Danach durften die Probanden von 23:00 Uhr bis 7:00 Uhr morgens schlafen, wobei mittels Polysomnographie (PSG) der Schlaf aufgezeichnet wurde. Nach dem Wecken um 7:00 Uhr konnten die Probanden duschen und erhielten ein standardisiertes Frühstück (ein Vollkornbrötchen, ein helles Brötchen, Butter, Marmelade). Um 8:30 Uhr wurde erneut die Müdigkeit mittels SSS erhoben, anschließend wurden die gelernten Figuren vom Vorabend abgerufen. Danach wurde gegen 8:50 Uhr erneut die Müdigkeit mittels SSS abgefragt. Mit den Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge: Vigilanztest, Wortflüssigkeitstest und *Digit Span Test*) von 8:50 Uhr bis 9:00 Uhr und einem kurzen Debriefing wurde die Experimentalnacht abgeschlossen (vgl. Abbildung 2.3).

Die Wachbedingung begann um 9:00 Uhr morgens mit den Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge: Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*, Vigilanztest, SSS). Anschließend wurde von ca. 9:30 Uhr bis 10:00 Uhr ein Figurenset gelernt. Dann wurde die Müdigkeit mittels SSS erneut erfasst und eine *Activwatch* [Philips Respironics] Uhr angelegt. Diese zeichnete die Aktivität der Wachprobanden über den Tag auf. Bis um 19:15 Uhr konnten die Probanden nach Hause, durften allerdings tagsüber nicht schlafen und sollten ihre Tagesaktivitäten auf einem Fragebogen festhalten. Außerdem wurden die Probanden gebeten tagsüber möglichst wenig zusätzlich zu lernen und vor allem visuelle Lernaufgaben zu meiden. Um 19:30 Uhr wurde erneut mittels SSS die Müdigkeit erfasst und anschließend die gelernten Figuren vom Morgen abgefragt. Danach wurden gegen 19:50 Uhr erneut die Kontrolltests durchgeführt (in chronologischer Reihenfolge SSS, Vigilanztest, Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*) und das Experiment mit einem kurzen Debriefing beendet (vgl. Abbildung 2.4). Der Zeitabstand zwischen Enkodierung und Abruf in der Schlaf-/Wachbedingung betrug somit ungefähr zehn Stunden (für eine genauere Darstellung siehe Kurzzeitabruf-Ablauf im Anhang).

Abend-/Morgenbedingung

Die Abend-/Morgenbedingung hatte im Gegensatz zur Schlaf-/Wachbedingung nur eine 20-minütige Pause zwischen der Enkodierung und dem Abruf. Die Abendbedingung begann um 22:00 Uhr abends mit den Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge: Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*, Vigilanztest, SSS). Die Probanden lernten anschließend von 22:30 Uhr bis 23:00 Uhr das Figu-

renset. Danach wurde erneut mittels SSS die Müdigkeit erfragt. Nach der 20-minütigen Pause mit Meditationsmusik (Thompson, 2009) wurde erneut die Müdigkeit erhoben und anschließend wurden gegen 23:20 Uhr die Figuren abgerufen. Am Ende wurden erneut Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge SSS, Vigilanztest, Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*) und ein kurzes Debriefing durchgeführt (vgl. Abbildung 2.3). Die Probanden der Morgenbedingung begannen um 9:00 Uhr morgens mit Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge: Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*, Vigilanztest, SSS) und lernten ein Figurenset von 9:30 Uhr bis 10:00 Uhr. Nach erneutem Erheben der Müdigkeit mittels SSS folgte eine 20-minütige Pause mit Meditationsmusik (Thompson, 2009). Um 10:20 Uhr wurde die Müdigkeit noch einmal mittels SSS erhoben und anschließend das gelernte Figurenset abgerufen. Abgeschlossen wurde das Experiment mit den Kontrolltests (in chronologischer Reihenfolge SSS, Vigilanztest, Wortflüssigkeitstest, *Digit Span Test*) und einem kurzen Debriefing (vgl. Abbildung 2.4).

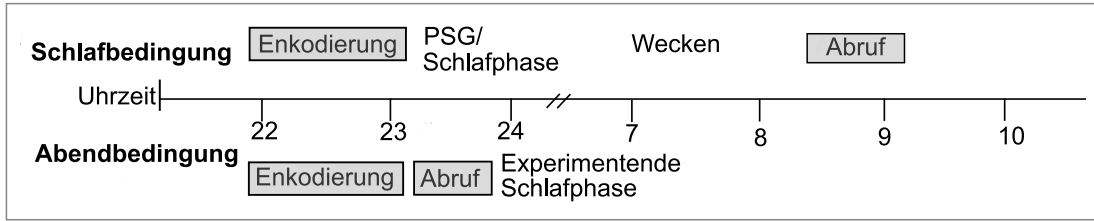


Abbildung 2.3: **Experimentablauf des Kurzzeitabrufs; Gegenüberstellung der Schlafbedingung und der Abendbedingung.** Probanden beider Bedingungen enkodierten die Figuresets zur selben Zeit, nur der Abruf erfolgte in der Abendbedingung nach 20 Minuten Pause und somit bereits vor dem Schlaf. Im Gegensatz dazu fand der Abruf in der Schlafbedingung erst nach einer mittels PSG überwachten Schlafnacht in unseren Laboren statt. Insgesamt hatte die Schlafbedingung zehn Stunden Pause zwischen Enkodierung und Abruf, inklusive acht Stunden Schlaf in der Nacht.

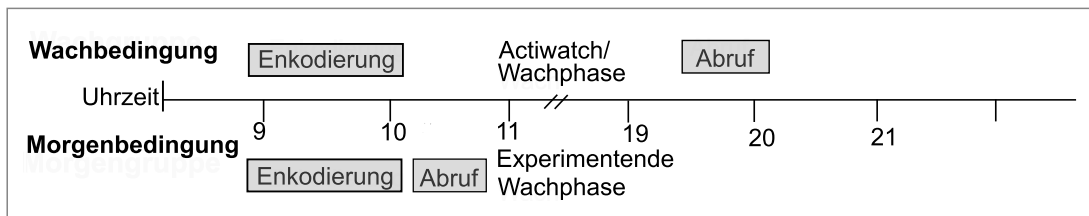


Abbildung 2.4: **Experimentablauf des Kurzzeitabrufs; Gegenüberstellung der Wachbedingung und der Morgenbedingung.** Probanden beider Bedingungen enkodierten die Figuresets zur selben Zeit, nur der Abruf erfolgte in der Morgenbedingung nach 20 Minuten Pause. Der Abruf der Wachbedingung fand am selben Tag abends statt. Insgesamt hatte die Wachbedingung entsprechend der Abendbedingung zehn Stunden Pause zwischen Enkodierung und Abruf. Mittels *Actiwatch* [Philips Respironics] wurde überprüft, dass kein Proband tagsüber vor dem Abruf schlief.

2.1.5 Polysomnographie

In beiden Nächten (Eingewöhnungsnacht und Experimentnacht) wurde die Schlafqualität mittels Polysomnographie (PSG) aufgezeichnet. Dabei wird die elektrische Hirnaktivität während des Schlafs mit einem Elektroenzephalogramm (EEG) gemessen (Jasper, 1958). Hierbei wurden neun Elektroden platziert. Alle Elektroden wurden online gegen den Mittelwert der Elektroden an den Mastoiden referenziert. Die Elektroden C2 und C3 wurden nach dem 10-20-System zentral parasagittal angebracht (Wellach, 2011). Das Elektromyogramm (EMG) und die Elektrookulografie (EOG) wurden von jeweils zwei bipolaren Elektroden aufgezeichnet. Die Erdungselektrode (*Ground*) wurde zentral auf der Stirn platziert. Zur Verringerung des Hautwiderstands wurden die betreffenden Hautstellen mit Alkohol gereinigt, mit einer Peelingcreme Hautschuppen entfernt und eine Leitpaste benutzt. Die Impedanz wurde vor Beginn der Aufzeichnungen geprüft und durfte maximal $5\text{ k}\Omega$ betragen.

2.1.6 Actiwatch

Probanden der Wachbedingung enkodierten morgens, hatten den Tag über Freizeit und kamen abends zum Abruf in das Labor zurück. Um zu überprüfen, dass die Probanden tagsüber nicht schliefen, wurde zusätzlich zum Fragebogen über Tagesaktivitäten das *Actiwatch-System* [*Philips Respironics*] verwendet. Die Geräte in der Größe einer Armbanduhr werden am Handgelenk getragen und zeichnen Bewegung sowie Lichtintensität auf. Mit diesen Werten können längere inaktive Phasen erfasst werden. Die Probanden wurden gebeten die *Actiwatch* vor dem Duschen abzulegen und die Zeitspanne ohne *Actiwatch* auf dem Fragebogen zu vermerken.

2.1.7 Debriefing

Am Ende des Experiments wurde ein Debriefing durchgeführt. Dabei wurden die Probanden nach der subjektiv empfundenen Schwierigkeit des Experiments und Auffälligkeiten gefragt. Außerdem wurde gefragt, ob eine Lerntechnik angewendet wurde und ob ein Zusammenhang zwischen den Figuren festgestellt wurde.

2.1.8 Kontrolltests

Die Kontrolltests bestanden aus einem Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT), einem *Digit Span Test*, der Stanford Sleepiness Scale (SSS) und einem Vigilanztest.

Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)

Mittels des RWT (Aschenbrenner et al., 2000) können die Konzentrationsfähigkeit und Abrufleistung aus dem Langzeitgedächtnis getestet werden. Die Probanden sollten dabei innerhalb von zwei Minuten möglichst viele Wörter desselben Anfangsbuchstabens aufschreiben, wobei jedoch nur ein Wort aus einem Wortstamm zählte (für eine Darstellung des Regensburger Wortflüssigkeitstests siehe RWT im Anhang).

Digit Span Test

Zur Testung des Arbeitsgedächtnisses wurde ein *Digit Span Test* (Soylu, 2010) verwendet. Dabei wurde den Probanden eine Zahlensequenz präsentiert, beginnend mit drei Zahlen. Diese wurden einzeln nacheinander gezeigt. Bei korrektem Wiedergeben der Zahlenreihe wurde die nächste um eine weitere Zahl verlängert. Die maximal mögliche Länge betrug neun Zahlen. Nach drei Fehlern wurde der Test frühzeitig beendet.

Stanford Sleepiness Scale (SSS)

Die SSS (Hoddes et al., 1972) erfasst, wie müde sich die Probanden subjektiv fühlen. Dabei erstreckte sich die Skala von Angaben wie „aufmerksam und hellwach“ über „müde und verlangsamt“ bis zu „ankämpfen gegen den Schlaf“. Insgesamt waren dabei sieben Wahlmöglichkeiten gegeben, wobei eine achte für „Schlaf“ vom Prüfer bei Bedarf gewählt werden konnte (für eine Darstellung der SSS siehe Anhang Stanford Sleepiness Scale).

Vigilanztest

Zur objektiven Messung der Aufmerksamkeit wurde ein fünfminütiger Vigilanztest (Diekelmann et al., 2013) durchgeführt. Die Probanden sollten dabei möglichst schnell auf einen roten Punkt (Durchmesser 1 cm) reagieren, der in zufälliger Reihenfolge rechts oder links auf dem Bildschirm präsentiert wurde.

Befand sich der Punkt links, sollte „X“ auf der Tastatur gedrückt werden. Analog sollte bei Erscheinen auf der rechten Bildschirmhälfte „M“ gedrückt werden. Anschließend wurde nach jeder Punktpräsentation rückgemeldet, wie lange in Millisekunden die Probanden brauchten, um die Taste zu betätigen. Bei Fehlbetätigung wurde eine „Falsch“-Meldung präsentiert.

2.2 Langzeitabruf

Nach einem Jahr wurde ein erneuter Abruf der gelernten Figuren ohne erneutes vorheriges Enkodieren durchgeführt.

2.2.1 Probanden

Rekrutierung

Alle Probanden, die an der ersten Erhebung teilgenommen hatten, wurden per Mail kontaktiert. Nachdem sich einige darauf nicht meldeten, wurden die Probanden, die ihre Mobilnummer angegeben hatten, telefonisch kontaktiert. Insgesamt nahmen 17 Probanden teil, davon 9 Probanden aus der Abend-/Morgenbedingung (davon 3 weiblich) und 8 aus der Schlaf-/Wachbedingung (davon 5 weiblich). Probanden wurden mit einer Studieninformation zum Langzeitabruf über den Ablauf des Experiments informiert.

Gruppenzuteilung

Da Probanden in der Abendbedingung wie in der Schlafbedingung nach der Enkodierung zeitnah geschlafen hatten und Probanden in der Morgenbedingung genauso wie in der Wachbedingung tagsüber nicht geschlafen hatten, wurden die Bedingungen des Kurzzeitabrufs jeweils zusammengefasst: Abend- und Schlafbedingung zu Schlafbedingung und Morgen-/Wachbedingung zu Wachbedingung.

2.2.2 Präsentationsaufbau

Beim Abruf wurden den Probanden zwei Figuren auf dem Bildschirm gezeigt, wobei sie die gelernte alte Figur angeben sollten, was einer two-alternative-forced-choice Aufgabe (2AFC) entspricht. Der Präsentationsaufbau des Langzeitabrufs ist in Abbildung 2.5 beispielhaft dargestellt. Dabei wurden entweder eine gelernte, alte Figur und eine neue Figur, die vorher nicht gelernt wurde,

oder ein Prototyp eines gelernten Figurenssets und eine neue Figur gezeigt. Die Probanden entschieden sich, welche die alte Figur war, und gaben anschließend an, wie sicher sie sich auf einer Skala von 1-4 (1: sehr unsicher, 4: sehr sicher) bei ihrer Aussage fühlten. Der Abruf wurde durch eine 30-sekündige Pause in zwei Abschnitte geteilt, wobei im ersten Teil Figuren der Figurensset-Kombination A und im zweiten Figuren der Figurensset-Kombination B gezeigt wurden. Innerhalb der Abschnitte wurden die Figuren pseudorandomisiert, dabei wurde die Position der alten und der neuen Figuren sowie der Prototypen auf dem Bildschirm (rechts oder links) ausbalanciert. Jeder Proband wurde mit 16 Prototypen und 16 alten Figuren aus jeder Figurensset-Kombination getestet, also insgesamt mit 32 alten Figuren und 32 Prototypen. Bei der Wahl der gelernten alten Figuren wurden Figuren verwendet, die in der Enkodierung gelernt, aber nicht im Kurzzeitabruf gezeigt wurden. Somit waren sowohl die alten Figuren als auch die Prototypen jeweils einmal, entweder bei der Enkodierung oder beim Kurzzeitabruf, von den Probanden gesehen worden. Auch in diesem Experimentteil wurden die Probanden erneut darauf hingewiesen, so schnell und so richtig wie möglich zu antworten. Es gab wie beim Kurzzeitabruf keine Zeitgrenze beim Antworten.

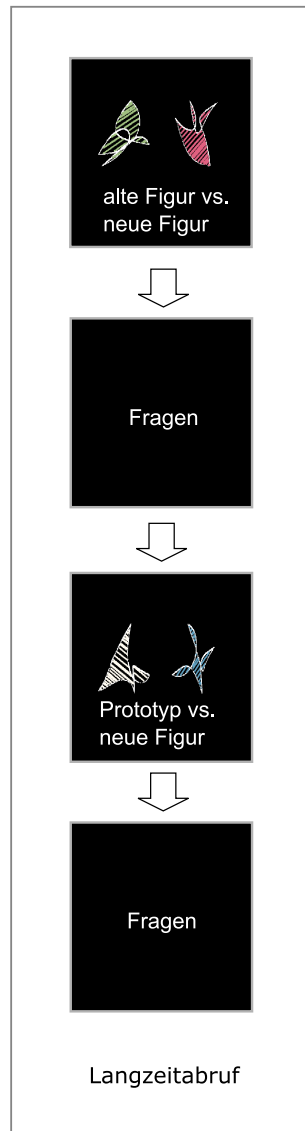


Abbildung 2.5: **Figurenpräsentation des Langzeitabrufs.** Während des Langzeitabrufs sollten die Probanden entweder zwischen einer alten Figur und einer neuen Figur oder zwischen einem Prototyp und einer neuen Figur entscheiden, welche die vor einem Jahr gelernte Figur sei (2AFC Task). Zum Schluss wurde die Sicherheit ebenfalls auf einer 1-4 Punkteskala bewertet.

2.2.3 Ablauf

Der Langzeitabruf fand zwischen 16:30 Uhr und 18:30 Uhr statt. Zu Beginn wurden die gleichen Kontrolltests wie beim Kurzzeitabruf durchgeführt (in chronologischer Reihenfolge Vigilanztest, SSS). Um die Augenbewegungen der Probanden während des Abrufs aufzuzeichnen, wurde ein *Eye Tribe Tracker* [The Eye Tribe ApS] verwendet, der vor dem Abruf ca. fünf Minuten kalibriert werden musste. Danach fand ein Figurenabruf statt, der ungefähr 15 Minu-

ten dauerte. Nach einer 30-minütigen Pause mit Meditationsmusik (Thompson, 2009), die eine Interferenz der gelernten Figuren und der abgerufenen Figuren reduzieren sollte, wurde die Müdigkeit erneut mit der SSS erhoben. Dann durchliefen die Probanden für die Figurenset-Kombinationen A und B den gleichen Abruf wie beim Kurzzeitabruf, was etwa 10 Minuten dauerte (für eine genauere Darstellung siehe Langzeitabruf-Ablauf im Anhang).

2.2.4 Eye Tribe Tracker

Mithilfe des *Eye Trackers [The Eye Tribe ApS]* konnten die Augenbewegungen der Probanden während des Abrufs aufgezeichnet werden. Dafür wurden während der Kalibrierung Koordinaten (auf einer x- und y-Achse) in Bezug auf den betrachteten Computerbildschirm angelegt. Der *Eye Tracker* hielt dann anhand dieser die Augenbewegungen der Probanden während des Experiments fest (The Eye Tribe ApS, 2014). Dafür wurde der *Eye Tracker* unterhalb des Bildschirms in Richtung des Probanden weisend platziert. Der Kopf des Probanden ruhte auf einer Kinnstütze.

2.2.5 Kontrolltests

Die Vigilanztests und die SSS des Kurzzeitabrufs wurden für diesen Experimentalteil wiederholt. Für eine genauere Beschreibung siehe Kapitel 2.1.8.

2.2.6 Debriefing

Auch der Langzeitabruf wurde mit einem Debriefing beendet. Die Probanden wurden nach der subjektiv empfundenen Schwierigkeit, sich an die vor einem Jahr gelernten Figuren zu erinnern, und nach Auffälligkeiten während des Experiments gefragt.

2.3 Auswertung der Daten

2.3.1 Probandenausschluss

Von der Analyse der Daten wurden aus der Schlaf-/Wachbedingung 3 Probanden wegen einer Schlafeffizienz $\leq 85\%$ während der Experimentalnacht ausgeschlossen, davon waren zwei männlich und eine weiblich. Zusätzlich wurde aus der Abend-/Morgenbedingung eine weibliche Probandin ausgeschlossen, da diese folgende Auffälligkeiten in mehreren Variablen zeigte: mehr als zwei

Standardabweichungen vom Gruppenmittelwert für *Digit Span*, Vigilanz und in der Gedächtnisleistung für enkodierte Stimuli. Außerdem konnten die Eye-trackerdaten zweier Probanden im Langzeitabruf wegen schlechter Kalibrierungsqualität des *Eye trackers* nicht ausgewertet werden.

2.3.2 Polysomnographie

Die polysomnographischen Daten wurden mittels der Software *SchlafAus* [Gais, 2005] ausgewertet.

2.3.3 Statistische Analyse

Die Verhaltensdaten wurden mittels *SPSS* [IBM *SPSS Statistics*] ausgewertet. Für die Ergebnisse des Experimentalteils wurde nur die Bewertung „alt“ für gezeigte Figuren berücksichtigt. Dabei wurde in Prototypen (zwar als „alt“ bewertet, aber vorher nicht gelernte Prototypen der gelernten Figurensets), korrekt wiedererkannte alte Figuren und neue Figuren (also neue, nicht gelernte Figuren) aufgeteilt. Um einen Zirkadianeffekt in Bezug auf die Leistung der Probanden im Kurzzeitabruf zu untersuchen, wurde eine wiederholte 2x3 Varianzanalyse (englisch *analysis of variance* (ANOVA)) mit den Innersubjektfaktoren *Stimulustyp* (*Prototypen*, *alte Figuren*, *neue Figuren*) und *Bedingungen* (*Abendtestung* in der Abend- und Schlafbedingung vs. *Morgentestung* in der Morgen- und Wachbedingung) durchgeführt. Mittels einer gemischten 2x2x3 ANOVA mit Innersubjektfaktoren *Stimulustyp* und *Bedingung* sowie dem Zwischensubjektfaktor *Bedingungszugehörigkeit* (*Schlaf-/Wachbedingung* vs. *Abend-/Morgenbedingung*) wurden Gruppenunterschiede bezüglich der Probandenleistung untersucht. Mit Korrelationsanalysen wurden mögliche Zusammenhänge zwischen Schlafphasen und Experimentleistung überprüft. Um die subjektive Einschätzung der Probanden miteinzubeziehen, wurden verbundene t-Tests mit Antworten durchgeführt, bei denen die Probanden angaben sich sehr sicher (3 und 4 auf einer Skala von 1-4) zu sein und die Figuren zu „erinnern“ (bei einer Auswahl zwischen „erinnern“, „wissen“ und „raten“), was in Kombination für ein besonders starkes episodisches Gedächtnis spricht.

Zur Auswertung des Langzeitabrufes nach einem Jahr wurden die Probandendaten der Abendbedingung mit den Probandendaten der Schlafbedingung zu einer Schlafbedingung zusammengefasst, da beide zeitnah nach der Enkodierung geschlafen hatten. Analog wurde mit den Probandendaten der Morgen-

und Wachbedingung verfahren. Mittels Einstichproben-t-Tests wurde ein signifikanter Unterschied zur Ratewahrscheinlichkeit von 50 % und den Antwortraten für die jeweiligen Figuren überprüft. Geplante Kontraste zwischen Prototypen nach Schlaf und allen anderen Faktoren (Prototypen nach Wachphase sowie alte Figuren nach Schlaf bzw. Wachphase) wurden berechnet, um einen möglichen Schlafeffekt im Langzeitabruf zu überprüfen. Diese wurden sowohl für die Schlaf- und Wachgruppe als auch für die ursprünglichen Gruppenzuordnungen im Kurzzeitabruf (also Abend- und Morgengruppe sowie Schlaf- und Wachgruppe einzeln) durchgeführt. Ein Einfluss des Zeitpunktes des Abrufs wurde mittels geplanter Kontraste überprüft. Dabei wurden Probanden mit einem Abruf nach 20 Minuten mit denen verglichen, welche den Abruf erst nach 10 Stunden durchgeführt hatten. Paarweise Vergleiche wurden durchgeführt, um zu testen, ob ein Schlafeffekt sowohl für Probanden der ehemaligen Schlaf- als auch der ehemaligen Abendgruppe bestand. Diese sollten Aufschlüsse über einen möglichen Zirkadianeffekt des Abrufzeitpunkts geben. Mittels Korrelationsanalysen wurde ein Zusammenhang zwischen Gedächtnisleistung und Schlafparametern überprüft. Die Ergebnisse der Eyetrackerdaten wurden ebenfalls mittels geplanter Kontraste für die Blickdauer auf Prototypen gegenüber allen anderen Stimuli ausgewertet. Korrelationsanalysen zwischen Gedächtnisleistung für Stimulustypen und Blickdauer sollten mögliche Zusammenhänge aufdecken. Weitere anschließende Post-Hoc Analysen wurden mittels t-Tests durchgeführt. Das Signifikanzlevel betrug $p = 0.05$.

3 Ergebnisse

3.1 Kurzzeitabruf

3.1.1 Verhaltensdaten der Figurensets

Während des Kurzzeitabrufs wurde die Abend-/Morgenbedingung (15 Probanden nach Probandenausschluss) nach einer Pause von 20 Minuten bzw. die Schlaf-/Wachbedingung (13 Probanden nach Probandenausschluss) nach 8 Stunden Schlaf und insgesamt 10 Stunden Pause getestet. Es gab bezüglich der Position der Figuren auf der Bildschirmseite (rechts vs. links) keine signifikanten Unterschiede, weshalb in der Datenauswertung Angaben zur Bildschirmposition nicht berücksichtigt wurden. Die ANOVA mit Messwiederholung für den Faktor *Stimulustyp* zeigte signifikante Effekte sowohl bei der Abend-/Morgenbedingung ($F(2,28) = 58.52, p < 0.001$) als auch bei der Schlaf-/Wachbedingung ($F(2,24) = 46.02, p < 0.001$). Post-Hoc t-Tests in der Schlaf-/Wachbedingung zeigten, dass die Erkennungsrate der korrekt erkannten alten Figuren sowie die Rate der Prototypen signifikant höher als die Erkennungsrate der neuen Figuren waren (siehe Abbildung 3.1). Das gleiche gilt für die Erkennungsraten für Prototypen und alte Figuren der Abend-/Morgenbedingung (alle $p < 0.001$) (siehe Abbildung 3.2). Allerdings wurden nur in der Schlaf-/Wachbedingung Prototypen signifikant häufiger als alte Figuren wiedererkannt ($p < 0.05$ in der Schlaf-/Wachbedingung und $p > 0.2$ in der Abend-/Morgenbedingung), wobei es in der gemischten ANOVA mit dem Faktor *Bedingungszugehörigkeit* keine Interaktion zwischen den Bedingungen *Schlaf-/Wachbedingung* vs. *Abend-/Morgenbedingung* und *Stimulustyp* ($F(2,52) = 1.576, p > 0.2$) gab. Zur Beurteilung des episodischen Gedächtnisses wurden die Antworten, die von den Probanden subjektiv mit 3 und 4 von 4 auf der Sicherheitsskala sowie mit „erinnern“ bewertet wurden, betrachtet. Die Erinnerungsrate alter Figuren unterschied sich signifikant zwischen der Schlaf- und Wachbedingung, wobei die Anzahl der korrekt und subjektiv sicher erinnerten alten Figuren nach Schlaf signifikant erhöht war ($t(12) = 2.27, p = 0.043$). Dies konnte nur für die Schlaf-/Wachbedingung, nicht aber in der Abend-/Morgenbedingung festgestellt werden ($p > 0.4$) (siehe Abbildung 3.3).

Für eine Gesamtübersicht der Wiedererkennungsraten aller Bedingungen im Kurzzeitabruf siehe Tabelle 3.1. Zusätzlich wurde eine positive Korrelation zwischen Gesamtminuten in REM-Schlaf sowie Prozentanteil von REM-Schlaf am Gesamtschlaf mit der Rate an korrekt erkannten alten Figuren, die subjektiv mit großer Sicherheit (3 und 4) und „erinnern“ bewertet wurden, gefunden (REM (min): $r = 0.610$, $p = 0.027$ sowie REM (%): $r = 0.568$, $p = 0.043$) (siehe Abbildung 3.4).

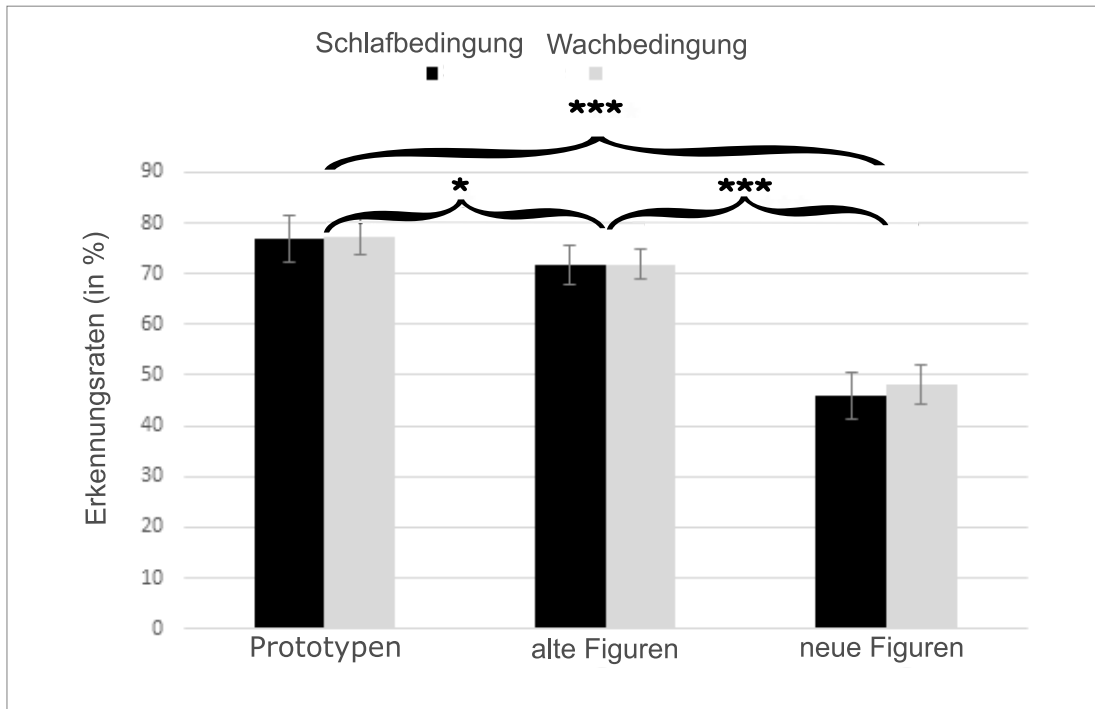


Abbildung 3.1: **Wiedererkennungsraten nichtgelernter Prototypen, gelernter alter Figuren und nicht gelernter neuer Figuren im Vergleich zwischen der Schlaf- und Wachbedingung.** Die Rate an wiedererkannten Prototypen war signifikant höher als die der alten und neuen Figuren und sowohl die Prototypen als auch die alten Figuren wurden signifikant häufiger als neue Figuren wiedererkannt. Es gab keinen Unterschied zwischen der Schlaf- und der Wachbedingung. Fehlerbalken zeigen ± 1 des Standardfehlers des Mittelwerts (englisch *standard error of the mean (SEM)*). * $p \leq 0.05$; *** $p \leq 0.001$.

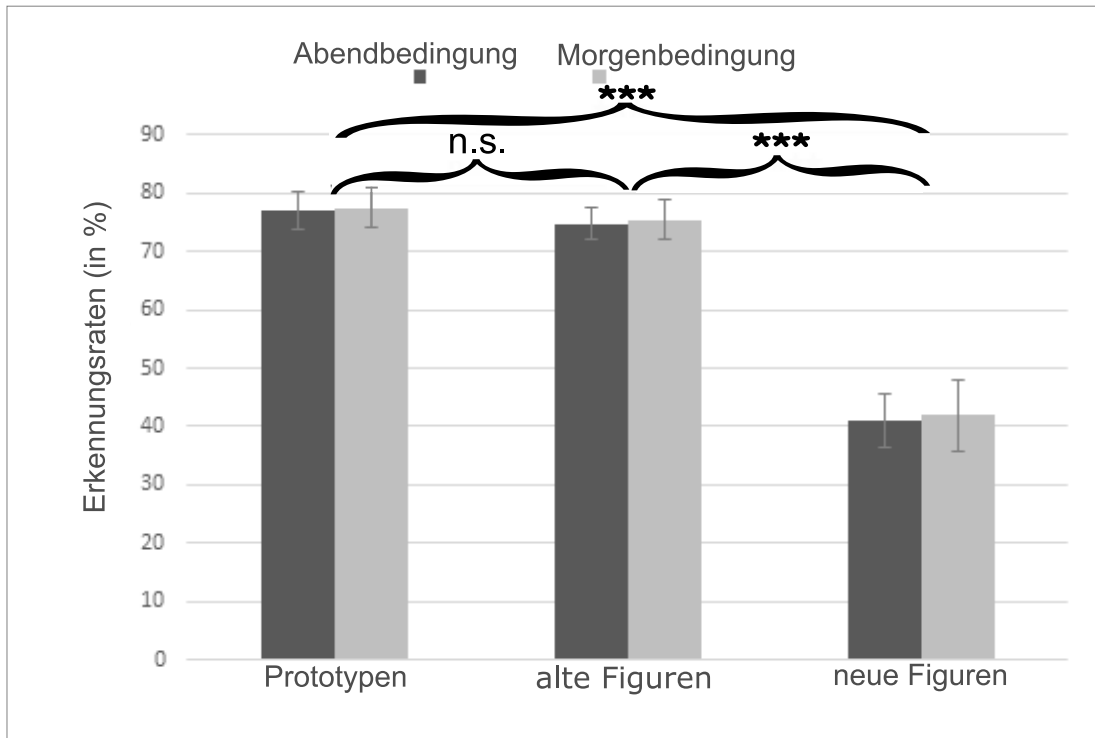


Abbildung 3.2: **Wiedererkennungsraten nichtgelernter Prototypen, gelernter alter Figuren und nicht gelernter neuer Figuren im Vergleich zwischen der Abend-/Morgenbedingung.** Prototypen und alte Figuren wurden signifikant häufiger als neue Figuren wiedererkannt. Im Unterschied zur Schlaf-/Wachbedingung wurden in der Abend-/Morgenbedingung Prototypen jedoch nicht signifikant häufiger als alte Figuren wiedererkannt. Es gab keinen Unterschied zwischen der Abend- und der Morgenbedingung. Fehlerbalken zeigen ± 1 SEM. n.s.: nicht signifikant. *** $p < 0.001$.

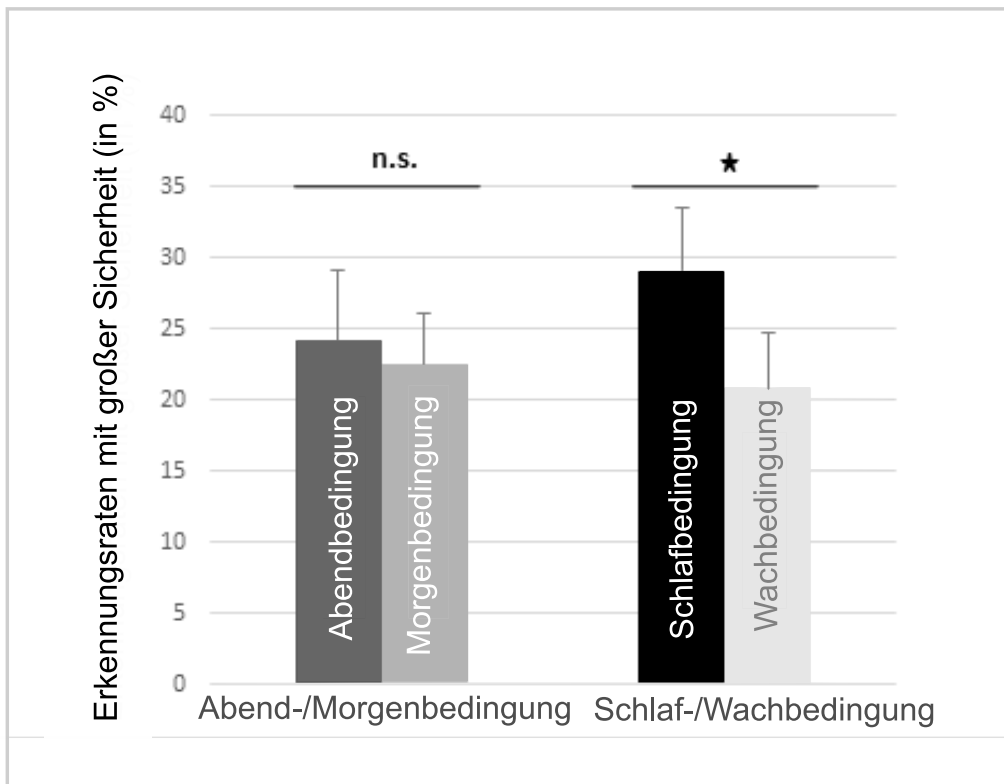


Abbildung 3.3: Wiedererkennungsraten erlernter alter Figuren mit großer Sicherheit (3 und 4 auf einer Skala von 1 bis 4, 1: sehr unsicher, 4: sehr sicher) und „erinnern“ im Vergleich zwischen der Schlaf-/Wachbedingung und der Abend-/Morgenbedingung. Während es zwischen der Abend-/Morgenbedingung keinen Unterschied gab, erinnerten sich die Probanden der Schlafbedingung im Vergleich zur Wachbedingung signifikant besser mit großer Sicherheit an die erlernten alten Figuren, was für stärkere episodische Erinnerungsspuren spricht. Fehlerbalken zeigen ± 1 SEM. n.s.: nicht signifikant. * $p < 0.05$.

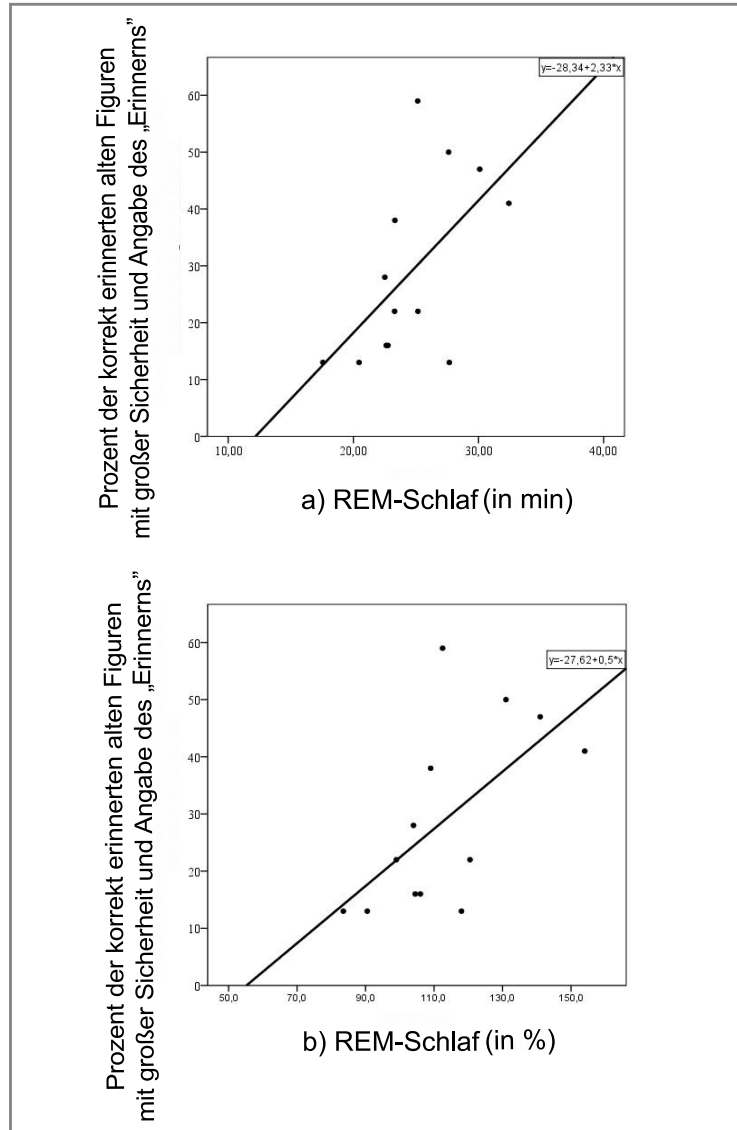


Abbildung 3.4: **REM-Schlaf (in Prozentanteil und absoluten Minuten (min)) in Korrelation mit den Erkennungsraten von alten Figuren, die mit großer Sicherheit (3 und 4) und „erinnern“ bewertet wurden.**
 a) Zwischen dem Prozentanteil REM-Schlaf und den Raten an alten Figuren bestand eine positive Korrelation ($r = 0.57$, $p < 0.05$).
 b) Zwischen der Gesamtzeit (min) in REM-Schlaf und den Raten an alten Figuren bestand eine positive Korrelation ($r = 0.61$, $p < 0.05$).

3.1.2 Zirkadianeffekte

Zwischen der Abend- und Morgenbedingung konnten keine signifikanten Unterschiede in der Gedächtnisleistung festgestellt werden, was gegen einen relevanten zirkadianen Einfluss bei Enkodierung und Abruf spricht ($p > 0.8$).

3.1.3 Schlafparameter

Die Schlafqualität der Schlafbedingung wurde mittels Polysomnographie und einem subjektiven Schlafragebogen (SF-A/R) überwacht. Die mittlere Schlafzeit betrug $459,31 \pm 5,09$ min (Mittelwert \pm SEM, davon im Schlafstadium 1 $4,96 \pm 0,7$ %, im Schlafstadium 2 $53,34 \pm 1,69$ %, im Schlafstadium 3 $9,92 \pm 0,67$ %, im Schlafstadium 4 $5,97 \pm 1,39$ %, in REM-Schlaf $24,66 \pm 1,11$ %). In den ausgefüllten Schlafragebögen konnten keine Auffälligkeiten gefunden werden.

3.2 Langzeitabruf

Nach durchschnittlich 386 Tagen wurden 17 Probanden erneut getestet. Davon waren 9 Probanden aus der früheren Abend-/Morgenbedingung und 8 aus der früheren Schlaf-/Wachbedingung. Da die Probanden beider Bedingungen nach der Enkodierung entweder anschließend schliefen oder wach blieben, wurden die Abend- und die Schlafbedingung (im Folgenden: Schlafbedingung) sowie die Morgen- und die Wachbedingung (im Folgenden: Wachbedingung) jeweils zusammengefasst. In diesem Experimentalteil wurde wegen der höheren Sensitivität eine *two-alternative-forced-choice* Aufgabe (2AFC) durchgeführt. Da sowohl alte Figuren als auch Prototypen gegen neue Figuren getestet wurden, wurden in diesem Teil Erkennungsraten von alten Figuren und Prototypen ausgewertet. Nach einer kurzen Experimentpause wurden die gleichen Abruftests wie im Kurzzeitabruf durchgeführt, diese waren allerdings aufgrund von Priming Effekten durch den vor der Pause durchgeführten 2AFC-Test nicht auswertbar.

Mittels Einstichproben t-Test wurden die Wiedererkennungsraten für alte Figuren und Prototypen mit der Antwortzufallswahrscheinlichkeit von 50 % verglichen. Nur die Erkennung der Prototypen in der Schlafbedingung lag signifikant über dem Zufallslevel ($t(16) = 6.25$, $p < 0.001$) (siehe Abbildung 3.5).

3 Ergebnisse

Tabelle 3.1: Wiedererkennungsraten der Schlaf-/Wachbedingung sowie der Abend-/Morgenbedingung, Angabe der subjektiven Sicherheit bei der Wiedererkennung und Beurteilung der wiedererkannten Figuren mit „erinnern“/„wissen“/„raten“-Bewertungen im Kurzzeitabruf.
p < 0.05; ()p < 0.1.

		Abend-/Morgenbedingung		Schlaf-/Wachbedingung	
		Abendbedingung	Morgenbedingung	Schlafbedingung	Wachbedingung
Wiedererkennungsraten	Prototypen	0.77 ± 0.03	0.78 ± 0.03	0.77 ± 0.05	0.77 ± 0.04
	Alte Figuren	0.75 ± 0.03	0.75 ± 0.03	0.72 ± 0.04	0.72 ± 0.03
	Neue Figuren	0.41 ± 0.05	0.42 ± 0.06	0.46 ± 0.05	0.48 ± 0.04
„erinnern“	Prototypen	0.39 ± 0.08	0.31 ± 0.07	0.55 ± 0.07	0.48 ± 0.08
	Alte Figuren	0.35 ± 0.07	0.34 ± 0.06	0.50 ± 0.06(*)	0.41 ± 0.06(*)
	Neue Figuren	0.17 ± 0.04	0.15 ± 0.06	0.27 ± 0.06	0.27 ± 0.05
„wissen“	Prototypen	0.35 ± 0.07	0.46 ± 0.06	0.35 ± 0.06	0.35 ± 0.06
	Alte Figuren	0.35 ± 0.05	0.38 ± 0.05	0.40 ± 0.06	0.41 ± 0.05
	Neue Figuren	0.37 ± 0.06	0.39 ± 0.08	0.45 ± 0.06	0.41 ± 0.07
„raten“	Prototypen	0.26 ± 0.08	0.23 ± 0.05	0.10 ± 0.02	0.17 ± 0.04
	Alte Figuren	0.30 ± 0.08	0.28 ± 0.06	0.10 ± 0.03	0.18 ± 0.04
	Neue Figuren	0.46 ± 0.08	0.46 ± 0.09	0.28 ± 0.05	0.32 ± 0.07
Sicherheit	Prototypen	2.73 ± 0.10	2.72 ± 0.11	2.94 ± 0.12	2.79 ± 0.15
	Alte Figuren	2.65 ± 0.12	2.65 ± 0.09	2.79 ± 0.13*	2.59 ± 0.15*
	Neue Figuren	2.17 ± 0.08*	2.33 ± 0.10*	2.38 ± 0.12	2.36 ± 0.12

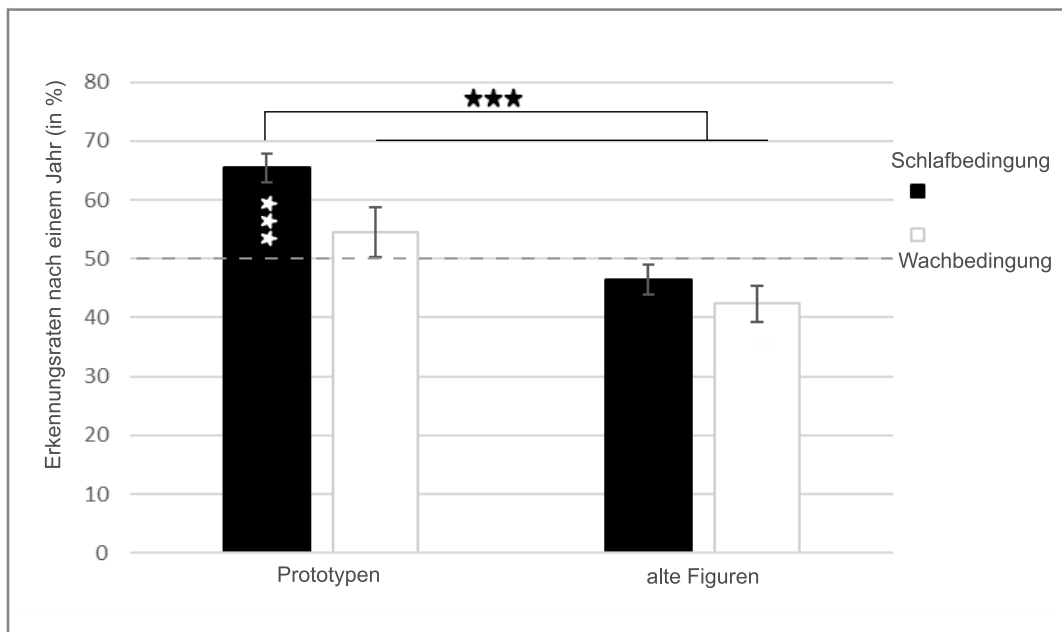


Abbildung 3.5: **Wiedererkennungsraten in der two-alternative-forced-choice Aufgabe (2AFC) im Langzeitabruf.** Nach durchschnittlich 386 Tagen Abstand zum letzten Experimenttag wurden nur die Prototypen der Schlafbedingung signifikant über Zufallsniveau wiedererkannt. Probanden der Schlafbedingung erinnerten sich signifikant besser an Prototypen im Vergleich zu Probanden anderer Bedingungen. Fehlerbalken zeigen ± 1 SEM. *** $p < 0.001$. *** innerhalb der Balken: signifikanter Unterschied zum Zufallsniveau (Ratewahrscheinlichkeit von 50 %).

Da weder alte Figuren noch Prototypen in der Wachbedingung über Zufallsniveau erkannt wurden, wurden geplante Kontraste angewandt. Dadurch konnte die Prototypenerkennungsrate der Schlafbedingung mit den Erkennungsraten der Wachbedingung für Prototypen und beider Bedingungen für alte Figuren verglichen werden. Dabei wurden Prototypen in der Schlafbedingung signifikant häufiger als in den anderen Bedingungen wiedererkannt ($t(16) = 5.75$, $p < 0.001$). Dieser Kontrast war unabhängig von der ursprünglichen Bedingungs-zugehörigkeit, da sowohl in der Abendbedingung ($t(8) = 6.25$, $p < 0.001$) als auch in der Schlafbedingung ($t(7) = 3.02$, $p < 0.019$) signifikante Kontraste gefunden wurden. Es gab keinen Zusammenhang zwischen der Länge des Enkodierung-Langzeitabruf-Abstands in der Abend- oder Schlafbedingung (alle Korrelationen zwischen dem Zeitintervall des Langzeitabrufs und den erinnerten Prototypen/alten Figuren betragen $p > 0.15$). Paarweise Vergleiche bestätigten, dass Probanden sowohl in der Schlafbedingung ($t(7) = 4.69$, $p = 0.002$) als auch in der Abendbedingung ($t(8) = 3.53$, $p = 0.008$) Prototypen signifikant besser als alte Figuren erinnerten. Es gab keine Korrelation zwischen der Erinnerungsleistung im Langzeitabruf und SWS/REM-Schlaf (beide $r < 0.34$, $p > 0.41$).

Geplante Kontraste der Eyetrackerdaten bestätigten die Daten der Verhaltensanalysen. Dabei blickten Probanden der Schlafbedingung signifikant länger auf Prototypen als auf alte Figuren bzw. Probanden der Wachbedingung signifikant länger auf beide Stimulustypen ($t(14) = 3.44$, $p = 0.004$). Somit scheint Schlaf besonders die Erinnerung an Prototypen, also die Erinnerung an die Gist des Gelernten, zu unterstützen (siehe Abbildung 3.6). Es wurde eine signifikante, positive Korrelation zwischen der Wiedererkennung von Prototypen im 2AFC Test und dem prozentualen Blickanteil auf die Prototypen in der Schlafbedingung gefunden ($r = 0.57$, $p = 0.025$). Diese Korrelation war im Gegensatz dazu für Prototypen der Wachbedingung nicht signifikant ($r = 0.45$, $p = 0.096$). Weitere signifikante Korrelationen zwischen richtig wiedererkannten alten Figuren und prozentualem Blickanteil wurden weder in der Schlaf- ($r = 0.22$, $p = 0.44$) noch in der Wachbedingung gefunden ($r = 0.17$, $p = 0.55$).

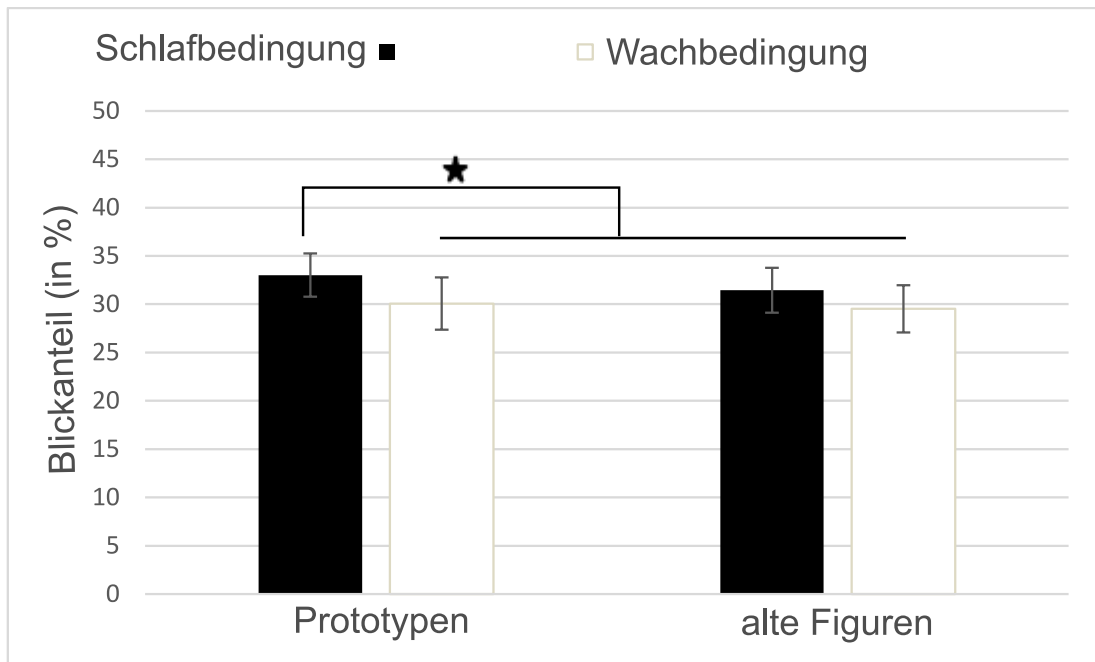


Abbildung 3.6: **Eye tracker Daten der 2AFC Aufgabe im Langzeitabruf.** Verglichen wird der Blickanteil auf die jeweiligen Figuren (Prototypen vs. neue Figuren und alte Figuren vs. neue Figuren). Die Eyetracker Daten bestätigen die Ergebnisse der Verhaltensanalysen. Dabei blickten Probanden der Schlafbedingung signifikant länger auf Prototypen als auf alte Figuren bzw. als Probanden der Wachbedingung auf beide Stimulustypen. Fehlerbalken zeigen ± 1 SEM. * $p < 0.05$. n.s.: nicht signifikant.

3.3 Kontrollvariablen

3.3.1 Kurzzeitabruf

Alle Probanden wurden mittels Stanford Sleepiness Scale (SSS), einem Vigilanztest, einem *Digit Span Test* und einem Wortflüssigkeitstest während der Enkodierung und während des Abrufs getestet. In der Abend-/Morgenbedingung gab es keine signifikanten Unterschiede während Enkodierung und Abruf bezüglich aller Kontrollvariablen (alle $p > 0.1$). In der Schlaf-/Wachbedingung fühlten sich die Probanden der Schlafbedingung subjektiv signifikant schläfriger während der Enkodierung ($t(12) = 2.55$, $p = 0.03$) im Vergleich zu Probanden der Wachbedingung. Objektiv gab es allerdings keine Unterschiede in der Vigilanz ($t(12) = 0.76$, $p = 0.47$).

3 Ergebnisse

Bezüglich der restlichen Kontrollvariablen gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Schlaf-/Wachbedingung (siehe Tabelle 3.2). Im Debriefing fiel auf, dass ein Großteil der Probanden sich der Ähnlichkeit der Figuren innerhalb eines Sets bewusst war. Die meisten Probanden berichteten über Lernstrategien, mittels derer sie sich das Thema eines Sets mit einem Bild („Tänzer“, „Schmetterling“) zu merken versuchten. Keiner der Probanden vermochte es allerdings, alte Figuren und Prototypen bewusst zu unterscheiden.

Tabelle 3.2: Kontrollvariablen aller Probanden der Abend-/Morgenbedingung und der Schlaf-/Wachbedingung für die Enkodierung und den Kurzzeitabruf. RWT: Regensburger Wortflüssigkeitstest. SSS: Stanford Sleepiness Scale. * $p \leq 0.05$.

		Abend-/Morgenbedingung		Schlaf-/Wachbedingung	
		Abendbedingung	Morgenbedingung	Schlafbedingung	Wachbedingung
Alter (Jahre)		23,67 ± 0,89		23,38 ± 0,76	
Enkodierung	SSS	2,80 ± 0,28	2,70 ± 0,23	2,88 ± 0,22*	2,58 ± 0,20*
	RWT (Anzahl der Wörter)	20,40 ± 1,33	18,60 ± 0,84	20,69 ± 1,72	19,31 ± 1,52
	Digit Span	7,53 ± 0,41	7,20 ± 0,22	6,23 ± 0,28	6,38 ± 0,40
	Vigilanz (durchschnittl. Reaktionszeit in ms)	416,13 ± 10,15	416,20 ± 12,38	374,54 ± 12,30	382,11 ± 12,02
	<hr/>				
Abruf	SSS	2,87 ± 0,26	2,73 ± 0,18	2,23 ± 0,19	2,15 ± 0,28
	RWT (Anzahl der Wörter)	20,67 ± 1,23	19,67 ± 0,98	19,85 ± 1,53	20,92 ± 1,27
	Digit Span	6,87 ± 0,19	6,93 ± 0,25	6,62 ± 0,27	6,92 ± 0,31
	Vigilanz (durchschnittl. Reaktionszeit in ms)	428,87 ± 9,62	428,18 ± 13,87	384,53 ± 14,40	377,98 ± 11,53
	<hr/>				

3.3.2 Langzeitabruf

Im Langzeitabruf wurden jeweils vor und nach der 2AFC-Aufgabe die Schläfrigkeit und die Vigilanz überprüft. Zusätzlich wurden die Probanden nach der Schlafdauer in der Nacht vor dem Langzeitabruf und in den Nächten nach der Enkodierung der Sets gefragt. Bezüglich der Enkodierungsnächte gab es keine Auffälligkeiten, allerdings konnten sich alle Probanden nach einem Jahr kaum an die Nächte erinnern. Die Schlafdauer vor der Enkodierung war unauffällig zwischen den Bedingungen ($p > 0.5$). Die Kontrollvariablen (Schläfrigkeit, Vigilanz, Debriefing) waren ebenfalls unauffällig: die Vigilanz (mittlere Reaktionszeit in ms) $436,80 \pm 7,37$, die Schläfrigkeit (SSS) $2,53 \pm 0,23$.

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der Studie wurde mittels einer visuellen Gedächtnisaufgabe der Einfluss von Schlaf auf Erinnerungsverfälschungen nach 20 Minuten (ohne Schlaf), nach 10 Stunden (inklusive Schlaf bzw. Wachheit) sowie nach einem Jahr untersucht. Dabei wurde analog zum verbalen Deese-Roediger-McDermott (DRM) Paradigma ein auf der Gist des Gelernten basierendes, visuelles Paradigma verwendet, in dem Figurenssets gelernt wurden (Diekelmann et al., 2011; Roediger und McDermott, 1995; Slotnick und Schacter, 2004). Jedes Set bestand aus einer abstrakten Prototypfigur sowie zehn vom Prototypen abgewandelten Figuren, wobei nur diese zehn Figuren gelernt wurden und anschließend das Gedächtnis für gelernte alte Figuren, ungelernete Prototypen sowie ungelernete neue Figuren überprüft wurde.

Im Kurzzeitabruf (10 Stunden Pause zwischen Enkodierung und Abruf) erkannten und „erinnerten“ sich die Probanden der Schlafgruppe signifikant subjektiv sicherer an enkodierte alte Figuren, was das Ausmaß an korrekten episodischen Erinnerungen widerspiegelt. Dieser Effekt konnte jedoch nicht für Prototypen, also Gist-Abstraktion, festgestellt werden. Zwischen der Erkennungsrate an korrekt und sehr sicher erinnerten alten Figuren und der REM-Schlafmenge und -Schlafdauer bestand eine positive Korrelation. Außerdem war die Erkennungsrate für Prototypen im Vergleich zu alten Figuren signifikant erhöht - allerdings nur in der Schlaf-/Wachbedingung (nach 10 Stunden zwischen Enkodierung und Abruf) und nicht in der Abend-/Morgenbedingung (nach 20 Minuten zwischen Enkodierung und Abruf). Dieser Effekt war also nicht nur für episodisches Gedächtnis nachweisbar, sondern auch über alle metakognitiven Parameter hinweg zu finden.

Im Langzeitabruf (nach ca. einem Jahr) wurden nur Prototypen, welche die Gist der erlernten alten Figuren darstellten, über dem Zufallsniveau wiedererkannt. Dies spiegelte sich auch in den Eyetrackerdaten wieder, welche eine signifikant verlängerte Blickzeit auf Prototypen zeigten, wenn die Probanden zeitnah nach der Enkodierung geschlafen hatten.

Zusammengenommen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Schlaf über einen kurzen Zeitraum zur Konsolidierung von episodischen Gedächtnisinhalten beiträgt und über lange Zeit die Gist-Abstraktion von Erlebtem fördert. Die Ergebnisse des Langzeitabrufs deuten auf eine wichtige Rolle von Schlaf direkt nach der Enkodierung, um die Gist über längere Zeit zu stabilisieren.

4.2 Einordnung in vorbestehende Literatur

Im Gegensatz zu einer Reihe von Experimenten, die einen positiven Zusammenhang zwischen Schlaf und Erinnerungsverfälschungen, meist mittels des DRM-Paradigmas, fanden, konnten wir keinen signifikanten Unterschied nach einer Nacht Schlaf im Gegensatz zu Wachheit in Bezug auf die Prototypen feststellen (vgl. Diekelmann et al., 2010; McKeon et al., 2012; Pardilla-Delgado und Payne, 2017; Payne et al., 2009). Generell zeigten die bisherigen Experimente zur Gist-Abstraktion mittels DRM-Paradigmen eine inkonsistente Datenlage: Sowohl über erhöhte, erniedrigte als auch unveränderte Gedächtnisleistung für Gist-Abstraktion wurde berichtet (Darsaud et al., 2011; Diekelmann et al., 2010; Fenn et al., 2009; Lo et al., 2014; McKeon et al., 2012; Pardilla-Delgado und Payne, 2017; Payne et al., 2009). Aus der Reihe an Studien, die die Rolle von Schlaf bei der Entstehung von Erinnerungsverfälschungen untersuchten, benutzten Darsaud et al. (2011) ähnlich unserem Experiment ebenfalls eine Wiedererkennungsaufgabe anstelle eines freien Abrufs („*free recall*“). Darsaud et al. (2011) fanden jedoch keinen signifikanten Effekt für Erinnerungsverfälschungen. Sie fanden einen Trend für mehr Erinnerungsverfälschungen nach Schlaf im Vergleich zu Wachheit, bei denen die Probanden angaben, sich zu „erinnern“. Für gelernte Stimuli fanden sie eine signifikante Erhöhung nach Schlaf. Darsaud et al. (2011) bringen ihre Ergebnisse mit einem unterstützenden Effekt von Schlaf auf die generelle Gedächtnisleistung, sowohl auf deklaratives Gedächtnis als auch auf Erinnerungsverfälschungen, in Verbindung. In unserem Experiment scheint Schlaf episodisches Gedächtnis auf kurze Sicht zu unterstützen, auf lange Sicht jedoch Gist-Abstraktion zu fördern.

Eine auf funktioneller Magnetresonanz (fMRT) basierende Studie von Gais et al. (2007) fand deutliche langanhaltende Veränderungen von Gedächtnisrepräsentationen auf Systemlevel, die bereits in der ersten Schlafnacht initiiert wurden und nach 6 Monaten immer noch nachweisbar waren. Die signifikant verstärkte subjektive Sicherheit in unserem Kurzzeitabruf deutet ebenfalls auf

eine qualitative Veränderung durch Konsolidierungsprozesse im Schlaf hin.

Darsaud et al. (2011) kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass Schlaf keinen exklusiven Einfluss auf Erinnerungsverfälschungen hat, sondern die generelle Gedächtnisleistung steigert. Dies wurde durch fehlende signifikante Unterschiede zwischen korrektem Abruf gelernter Wörter und Erinnerungsverfälschungen in den fMRT-Daten unterstützt. Stattdessen vermuten Darsaud et al. (2011), dass vor allem die Enkodierungsstrategie und nicht die erste Nacht nach der Enkodierung der bestimmende Faktor sei. Dies stimmt zumindest dahingehend mit den Kurzzeitdaten unserer Studie überein, insofern wir keinen Unterschied zwischen der Schlaf- und Wachbedingung für Prototypen im Kurzzeitabruf feststellen konnten. Allerdings scheint aufgrund der Daten unserer Langzeittestung der Zeitpunkt der ersten Nacht nach Enkodierung wohl eine Rolle auf die Langzeitgedächtnisleistung zu haben, und zwar insofern als nur Prototypen über Zufallsniveau erkannt werden konnten, wenn Schlaf zeitnah auf die Enkodierung folgte. Dass der gedächtnisunterstützende Effekt von Schlaf am größten ist, wenn dieser zeitnah auf die Enkodierung folgt, wurde bereits in der Literatur vorbeschrieben (Gais et al., 2006; Payne et al., 2012).

Diekelmann et al. (2008) fanden einen indirekten Schlafeffekt in einem DRM-Paradigma mit Wiedererkennungsabruf. Dabei waren Erinnerungsverfälschungen unter Schlafdeprivation, die sowohl bei der Enkodierung als auch beim Abruf bestand, erhöht. Fenn et al. (2009) fanden im DRM-Paradigma signifikant niedrigere Wiedererkennungsraten für Erinnerungsverfälschungen im Vergleich zu gelernten Wörtern nach Schlaf. Lo et al. (2014) fanden ebenfalls verminderte Wiedererkennungsraten von Erinnerungsverfälschungen nach Schlaf, einhergehend mit subjektiv geringerer Sicherheit. Die teilweise konträre Datenlage führen Lo et al. (2014) auf die unterschiedlichen Abrufstrategien (freier Abruf vs. Wiedererkennung) zurück: Durch die verstärkte Extrahierung der Gist im Schlaf könnte beim freien Abruf die Rate an Erinnerungsverfälschungen nach Schlaf erhöht werden. Dem entgegengesetzt könnte Schlaf zusätzlich parallel kontextuelle Details von Erinnerungen verstärken und die falsche Wiedererkennung von ähnlichen, aber nicht gelernten Wörtern/Figuren in Wiedererkennungstests minimieren. Die Tatsache, dass vor allem bei freiem Abruf ein verstärkender Schlafeffekt, in Wiedererkennungstests jedoch ein minimierender Schlafeffekt gefunden wurde, spräche für eine Ko-Existenz beider Mechanismen (Diekelmann et al., 2008; Diekelmann et al., 2010; Fenn et al., 2009; Frenda et al., 2014; McKeon et al., 2012; Payne et al., 2009; Pardilla-Delgado

und Payne, 2017; Lo et al., 2014). Auch unterschiedliche Experimentdesigns, wie das DRM-Paradigma und hiermit verbunden die Anzahl der semantisch zusammenhängenden Wortlisten oder andere Modulationen des Paradigmas, veränderten Erkennungsraten deutlich (Gallo und Roediger III, 2002; McKeon et al., 2012). In ähnlicher Weise könnten die bei uns verwendeten Figurensätze nach Slotnick und Schacter (2004) einen modulierenden Einfluss auf einen potentiellen Schlafeffekt im Vergleich zu verbalen DRM-Paradigmen haben. Möglicherweise beeinflussen dabei Merkstrategien die Gedächtnisleistung in klassischen verbalen DRM-Paradigmen mehr, als in der bei uns verwendeten visuellen Version (Diekelmann et al., 2011; Slotnick und Schacter, 2004; Libby und Neisser, 2001).

4.3 Entstehung von Erinnerungsverfälschungen: fuzzy trace vs. spreading activation

Die Entstehung von Erinnerungsverfälschungen, wie sie in unserem Experiment erzeugt wurden, ist sowohl mit der *spreading activation* Theorie als auch mit der auf der Gist des Gelernten basierenden Theorie erklärbar (Reyna et al., 2016; Roediger III et al., 2001).

Laut *spreading activation* werden Figuren, die den gelernten Figuren ähneln, bei der Enkodierung oder während des Abrufs ebenfalls aktiviert. Die Aktivierung von semantisch ähnlichen Inhalten – bei uns der nicht gelernten Prototypen durch die gelernten, ähnlichen Figuren – wird gespeichert. Dies führt zu einem Missattributionsfehler beim Abruf, indem Prototypen für gelernte und bekannte Figuren gehalten werden, und somit letztendlich zu Erinnerungsverfälschungen durch gestörtes Quellenmonitoring (Diekelmann et al., 2010).

Die auf der Gist des Gelernten basierende Theorie (*fuzzy trace theory*) geht von einem Anlegen zweier Gedächtnisspuren während der Enkodierung aus. Dabei repräsentiert die Verbatim-Spur die detaillierte Erinnerung an beispielsweise die in unserem Experiment gelernte Figur. Die parallel dazu erstellte Gist-Spur beinhaltet das Thema, den Kerninhalt des Erlebten, in unserem Fall den Prototypen aller gelernten Figuren eines Figurensatzes. Dementsprechend werden während der Entstehung einer Erinnerung zwei separate Spuren gespeichert, die trotzdem beide überlappende Elemente – die Prototypen – beinhalten. Während multipler überlappender Aktivierungen durch semantisch

ähnliche Figuren eines Figurenssets wird die dazugehörige Gist – der Prototyp – verstärkt, sodass letztendlich der Prototyp als genauso lebhaft wie die gelernten alten Figuren erinnert wird (Reyna et al., 2016). Dabei verbleibt die Gist-Spur über längere Zeit stabil, während die Verbatim-Spur schwächer wird (Brainerd und Mojardin, 1998).

Dass die Prototypen in der Schlafbedingung des Langzeitabrufs in unserem Experiment signifikant häufiger erkannt wurden als die alten Figuren, kann durch multiple Ko-Aktivierung bei der Enkodierung und dabei ablaufenden Reaktivierungen des assoziativen Netzwerks erklärt werden. Andererseits könnte die Gist-Spur eines Figurenssets durch überlappende Aktivierung während der Enkodierung und Reaktivierung in der nachfolgenden Zeit so gestärkt werden, dass letztendlich die Prototypen häufiger wiedererkannt werden. Allerdings ließ sich in unserem Experiment ein signifikanter Unterschied zwischen Schlaf- und Wachbedingung in Bezug auf die Prototypen nur in der Schlafbedingung des Langzeitabrufs, nicht aber im Kurzzeitabruf nachweisen. Im Kurzzeitabruf waren die Erkennungsraten von Prototypen sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachbedingung (nach 10 Stunden) signifikant erhöht. Erst im Langzeitabruf nach einem Jahr waren die Erkennungsraten von Prototypen in der Schlafbedingung signifikant höher.

Die Ergebnisse einer vorherigen Studie von Diekelmann et al. (2011) deuteten auf die Richtigkeit der auf der Gist des Gelernten basierenden Theorie hin. Dabei wurde mit demselben Figurensset wie in unserem Experiment ein verringertes Auftreten von Erinnerungsverfälschungen beobachtet. Die Verringerung der Erinnerungsverfälschungen war dabei positiv mit der Verringerung der Erkennungsraten von alten Figuren korreliert. Diekelmann et al. (2011) sahen dies als Hinweis auf eine Speicherung der Gist- und Verbatim-Spuren in einem gemeinsamen, teilweise überlappenden Netzwerk. Eine andere mögliche Erklärung der Ergebnisse des Langzeitabrufs besteht in wiederholten Aktivierungen des Netzwerks im Sinne von *spreading activation*, wodurch stärker repräsentierte (überlappende) Bereiche, also die Prototypen eines Figurenssets, nach einem Jahr besser erhalten blieben, die Präsentationen der ursprünglich gelernten Figuren jedoch kaum noch vorhanden wären.

Zusammenfassend lassen sich die Erinnerungsverfälschungen in unserem Experiment durch beide Entstehungstheorien erklären.

4.4 Episodisches Gedächtnis und REM-Schlaf

In unserem Experiment stellten wir fest, dass im Kurzzeitabruf in der Schlafbedingung nach 10 Stunden die Rate an korrekt und mit hoher Sicherheit erinnerten alten Figuren erhöht war. Dies spricht für eine Stärkung von hippocampusabhängigem episodischem Gedächtnis durch Schlaf, was bereits in anderen Studien vorbeschrieben wurde (Inostroza und Born, 2013; Kim und Cabeza, 2009; Marshall und Born, 2007). Zusätzlich dazu fanden wir eine Korrelation zwischen REM-Schlaf und episodischem Gedächtnis während des Post-Enkodierungs-Schlafs. Die Rolle von REM-Schlaf ist aktuell noch nicht geklärt, es gibt jedoch Hinweise auf einen unterstützenden Effekt von REM-Schlaf auf die Wirkung von SWS bei hippocampus-abhängigem episodischem Gedächtnis und auf einen Schutz vor retrograder Interferenz bei überlappenden visuellen Erinnerungen (Boyce et al., 2016; Marshall und Born, 2007; McDevitt et al., 2015; Rasch und Born, 2015; Rauchs et al., 2004). Um die Rolle von REM-Schlaf auf episodische Gedächtnisinhalte genauer zu verstehen, ist jedoch noch weiterführende Forschung notwendig.

4.5 Veränderung von Gedächtnisspuren über multiple Schlafzyklen und Gist-Abstraktion

Im Langzeitabruf nach einem Jahr konnten wir nur noch Erinnerungen an die Gist-Information (entspricht den Prototypen) feststellen, wenn die Figurenset-Kombinationen direkt vor einer Nacht Schlaf gelernt wurden. Dies spricht für einen verstärkenden Effekt von Schlaf auf Erinnerungsverfälschungen im Sinne einer Abstraktion der Gist-Spur, jedoch nur, wenn Schlaf direkt im Anschluss an die Enkodierung folgte. Gleichzeitig verblieb die Gist-Information auch über den Zeitraum von einem Jahr stabil, während die Verbatim-Spuren abgeschwächt wurden, da weder in der Schlaf- noch in den Wachbedingung Probanden alte Figuren über dem Zufallsniveau wiedererkennen konnten. Unsere Ergebnisse stimmen somit mit den Vorstellungen von Systemkonsolidierung überein (Dudai et al., 2015). Dabei wird nur die Gist des Erlebten über längere Zeit behalten und Details vergessen. Im Sinne der *competitive trace theory* (CTT) interpretiert, wurden episodische Erinnerungsspuren dekontextualisiert und verblieben nach multiplen Nächten als semantische Informationen, die nur die Gist enthielten (Yassa und Reagh, 2013). Dies könnte das Ergebnis von Konsolidierungsprozessen sein, in denen die Spuren wiederholt

reaktiviert und mit jeder Reaktivierung rekonstruiert wurden. Mit der Zeit nahm dadurch der Anteil an abstrahierten Erinnerungsdetails zu und der Anteil an korrekten Details ab. Analog hierzu konnten Probanden in unserer Studie gelernte alte Figuren nach einem Jahr nicht mehr wiedererkennen.

Allerdings können unsere Ergebnisse auch gut im Sinne des *standard model of system consolidation* (SSC) interpretiert werden (Squire und Alvarez, 1995). Dabei werden episodische Erinnerungen durch multiple Reaktivierungen in semantische umgewandelt, welche letztendlich hippocampusunabhängig im Neokortex gespeichert werden. In unserer Studie entspräche das den semantisierten Gist-Figuren (Prototypen), welche auch nach einem Jahr noch nachweisbar waren. Es ist ebenfalls möglich, dass die in unserem Experiment im Kurzzeitabruf nach Schlaf erhöhten episodischen Erinnerungen immer hippocampusabhängig im Sinne der *multiple trace theory* (MTT) verbleiben (Nadel et al., 2000). Dabei verfallen diese jedoch schneller als die parallel neokortikal gespeicherte, semantische Gist des Gelernten. Dadurch konnte in unserem Experiment nach einem Jahr nur noch die Gist nachgewiesen werden.

Da in diesem Experiment nicht explizit auf eine Rolle des Hippocampus im Abruf von episodischen vs. semantischen Erinnerungen und deren Veränderung im Laufe der Zeit getestet wurde, wird zukünftige, möglicherweise MRT gesteuerte Forschung benötigt, um die Rolle des Hippocampus genauer zu untersuchen. Gais et al. (2007) fanden signifikante neuronale Unterschiede in Konsolidierungsprozessen auf Systemebene, die bereits in der ersten Schlafnacht nach Enkodierung initiiert wurden. Dabei schien Schlaf eine stärkere Verbindung zwischen Hippocampus und medialem Präfrontalkortex (mPFC) zu induzieren. Selbst nach 6 Monaten war in der Schlafbedingung noch eine verstärkte Aktivität des medialen Präfrontalkortex (mPFC) beim Abruf des Gelernten nachzuweisen. Die Ergebnisse stimmen mit unseren behavioralen Ergebnissen insofern überein, als die erste Schlafnacht, die zeitnah der Enkodierung folgt, sowohl in der Schlafbedingung als auch in der Abendbedingung zu langanhaltenden Repräsentationsveränderungen führte.

4.6 Informationsüberlappung zur Abstraktion im Schlaf

Eine mögliche Erklärung für die verstärkende Wirkung von Schlaf bei der Gist-Abstraktion könnten nächtliche Reaktivierungen des Gelernten sein (Rasch und Born, 2007). Während der Enkodierung werden Neuronen durch das Erlebte oder Gelernte aktiviert. Verbindungen werden beim gleichzeitigen Reaktivieren von zwei Erinnerungsspuren aktiviert. Am stärksten aktiviert werden jedoch die Areale derjenigen Erinnerungen, die sich überlappen, und somit Erinnerunges, welches in beiden Erinnerungen erlebt wurde, kodieren. Dadurch werden Verbindungen zwischen sich überschneidenden Arealen im Vergleich zu Einzelerinnerungen stärker (Lewis und Durrant, 2011). Während des SWS werden laut Synaptischer Homöostasen Theorie kürzlich potenzierte Synapsen herunterskaliert und nur die stark potenzierten Synapsen in überlappenden Bereichen überstehen diesen Prozess (Tononi und Cirelli, 2014). Zu schwache Verbindungen gehen dabei verloren, wobei tagsüber nicht aktivierte Synapsen von diesem Prozess unberührt bleiben. Übrig bleiben nach multiplen Reaktivierungen vor allem die Bereiche, die mehrere Erinnerungen zusammenfassen, also die Gist (Durrant et al., 2011) (siehe Abbildung 4.1).

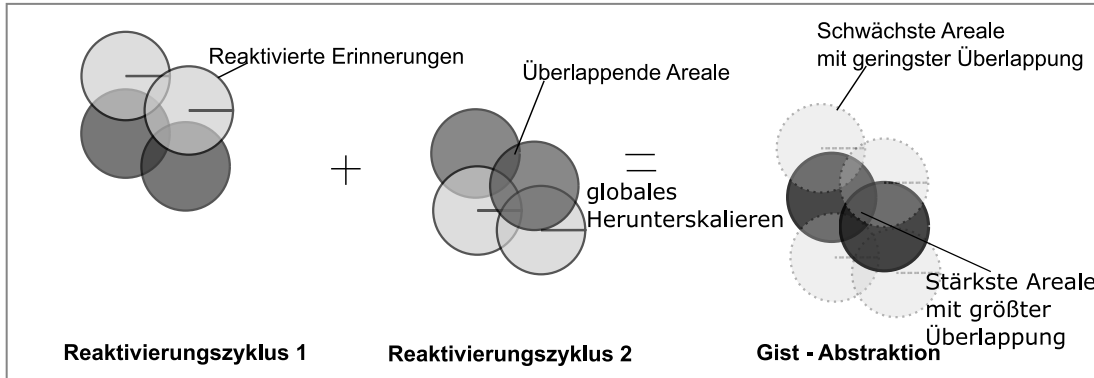


Abbildung 4.1: **Gist-Abstraktion durch Reaktivierung von überlappenden Erinnerungen.** In der Graphik werden zwei Reaktivierungszyklen dargestellt, in denen Erinnerungen (dargestellt als Kreise) im Schlaf reaktiviert werden. Hellgraue Kreise stellen verschiedene Erinnerungselemente dar, die in zwei verschiedenen Situationen erlebt wurden. Dunkelgraue Kreise stellen gleiche Erinnerungselemente dar, die aber in zwei verschiedenen Situationen erlebt wurden und somit in zwei verschiedenen assoziativen Netzwerken gespeichert wurden. Im Schlaf werden Erinnerungen der hellgrauen Kreise demzufolge nur einmal, die der dunkelgrauen Kreise zweimal reaktiviert. Durch multiple aufeinander folgende Reaktivierungen werden überlappende Areale von benachbarten Erinnerungen gestärkt. Während des SWS und damit verbunden der Herunterskalierung von schwachen Gedächtnisspuren wird die Abstraktion unterstützt. Die stärksten Erinnerungsspuren sind dabei die am häufigsten reaktivierten Erinnerungen. Graphik in Anlehnung an Lewis und Durrant (2011).

Das Zusammenspiel zwischen der Herunterskalierung von schwachen Erinnerungsspuren während des SWS und der Reaktivierung von stärkeren Spuren kann dabei ein besonders effektives Kontrollsystem zur Sortierung wichtiger und unwichtiger Informationen sein. Lewis und Durrant (2011) nennen diesen Mechanismus *information Overlap to Abstract*, kurz *iOtA*. Durch mehrere Zyklen von Reaktivierung und Herunterskalierung im Schlaf geschieht eine zunehmende Gist-Abstraktion und gleichzeitig ein Verlust unwichtiger Informationen.

Diese Theorie ist sehr gut mit unseren Ergebnissen vereinbar, da nächtliche Reaktivierungen des Gelernten, vor allem überlappende Bereiche, also die Gist in Form von Prototypen, stärken würden, so dass die Wahrscheinlichkeit Prototypen falsch wiederzuerkennen nach längerer Zeit erhöht ist. Durch die nächtliche Stärkung vor allem der überlappenden Gist-Spur könnte auch erklärt werden, warum unsere Probanden der Schlafbedingung im Langzeitabruf nur die Gist der gelernten Figurenssets über dem Zufallsniveau wiedererkann-

ten. Mehrere Studien haben ebenfalls einen verstärkenden Effekt von Schlaf auf die Extrahierung einer Gist oder einer Dekontextualisierung des Erlebten gefunden (Cairney et al., 2011; Djonlagic et al., 2009; Fischer et al., 2006; Gómez et al., 2006; Sterpenich et al., 2014).

Gleichzeitig wurde jedoch auch ein kontextverstärkender Effekt von Schlaf beobachtet (Lewis et al., 2011; Van Der Helm et al., 2011). Möglicherweise existieren beide Effekte von Schlaf auf kontextuelle Erinnerungsspuren parallel, sowohl ein stabilisierender als auch ein dekontextualisierender (Payne et al., 2012). Auf der einen Seite unterstützt Schlaf die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten (Ellenbogen et al., 2009; Gais et al., 2006), möglicherweise während Konsolidierungsprozessen im Rahmen von SWS. Auf der anderen fördert er die Generalisierung und Integrierung in neuronale Netzwerke, womöglich während des REM-Schlafs (Durrant et al., 2015; Sterpenich et al., 2014).

4.7 Einfluss von Zeit auf die Gist-Abstraktion

Neben einer Reihe von Studien, bei denen ein verstärkender Effekt von Schlaf auf Gist-Abstraktion gefunden wurde (siehe Kapitel 4.5), konnte dieser Effekt in einigen anderen Studien nicht festgestellt werden. Stattdessen schien die vergangene Zeit ebenfalls eine große Rolle zu spielen (Cox et al., 2014; Sweegers und Talamini, 2014). In einer Studie von Cox et al. (2014) wurde beobachtet, dass die Dekontextualisierung einer Erinnerung zeitabhängig sei und erst nach 24 Stunden nachgewiesen werden konnte. In unserem Experiment waren erhöhte Erkennungsraten für die Gist (den Prototypen entsprechend) jedoch bereits im Kurzzeitabruf nach 10 Stunden nachweisbar. Möglicherweise liegt dies an den verschiedenen Studiendesigns. Während Cox et al. (2014) die Wirkung von Schlaf und Zeit auf den Einfluss von implizit gelernten Kontextinformationen beim Abruf überprüften, wurden in unserem Experiment die Wirkung von Schlaf auf die gelernten alten Figuren sowie die nach Abstraktionsprozessen gespeicherte Gist der Figurensätze überprüft. Im Langzeitabruf blieb analog zur Studie von Cox et al. (2014) die Gist-Spur stabil, während die Verbatim-Spur verblasste, was zu einer häufigeren Wiedererkennung von Prototypen führte. Ähnliche Effekte von erhöhten, auf der Gist des Gelernten basierenden Erinnerungsverfälschungen nach vergangener Zeit wurden bereits vorbeschrieben (McDermott, 1996). In einer Studie von Carneiro et al. (2016) wurde eine schnelle Schwächung von assoziativ bedingten Erinnerungsverfä-

schungen nach einer Woche beobachtet, während auf der Gist des Gelernten basierende unverändert blieben. In den meisten Studien, die die vergangene Zeit als wichtigen Faktor der Gist-Abstraktion sahen, wurde allerdings nicht auf einen Schlafeffekt getestet, sondern nur die Veränderung von Erinnerungsspuren über längere Zeit inklusive mehrerer ungestörter Schlafzyklen beobachtet (Talamini und Gorree, 2012; Tamminen et al., 2012). Cox et al. (2014) konnten in ihrer Studie keinen Schlafeffekt auf die Dekontextualisierung von Erinnerungsspuren finden, allerdings wurde hierbei eine implizite Gedächtnisaufgabe verwendet. Die Autoren gaben zu bedenken, dass die Erinnerungsspuren dabei möglicherweise zu schwach enkodiert wurden und deshalb kein Schlafeffekt im Vergleich zu Studien, die explizit enkodieren ließen, gefunden werden konnte. In einer anderen Studie von Sweegers und Talamini (2014) konnte ebenfalls kein Schlafeffekt nachweisen werden, wohl aber ein Zeiteffekt auf die Dekontextualisierung. Hierbei wurde mit einem Nap-Paradigma gearbeitet, welches einen kurzen Nachmittagsschlaf von 4 Stunden beinhaltet. Möglicherweise waren vier Stunden Schlaf zu kurz, um einen Schlafeffekt im Vergleich zum Wachzustand zu zeigen.

In einer Reihe von Studien wurde herausgefunden, dass eine Nacht Schlaf oder weniger nicht ausreichend war, um eine signifikante Dekontextualisierung von Erlebtem im Vergleich zwischen Schlafprobanden und schlafdeprivierten Probanden zu finden (Deliens et al., 2013a; Jurewicz et al., 2016; Sweegers und Talamini, 2014). Stattdessen scheinen mehrere aufeinanderfolgende Schlafnächte notwendig zu sein, um einen unterschiedlichen Effekt von Schlaf vs. Wachheit auf die Dekontextualisierung von Erinnerungsspuren festzustellen (Deliens et al., 2013b). In unseren Ergebnissen konnten wir ebenfalls einen Zeiteffekt nach 10 Stunden finden, insofern, als nur Probanden der Schlaf-/Wachbedingung Prototypen signifikant häufiger erkannten. Allerdings konnten wir keinen signifikant verstärkenden Effekt von einer Nacht Schlaf im Vergleich zu Wachheit auf die Gist-Abstraktion nachweisen. Nach multiplen Nächten jedoch konnte nach einem Jahr ein Schlafeffekt gefunden werden. Dabei lagen nur die Erkennungsraten der Schlafbedingung für Prototypen über Zufallsniveau. Somit kann ein initial zeitabhängiger Abstraktionsprozess der Gist vermutet werden. Folgt Schlaf direkt im Anschluss, initiiert dieser möglicherweise eine besonders stabile Langzeitrepräsentation der Gist-Spur.

Durch die Verwendung abstrakter Figuren mussten in unserem Experiment im Gegensatz zum klassischen, verbalen DRM-Paradigma neue Netzwerke wäh-

rend der Enkodierung und Konsolidierung erstellt werden (Deese, 1959; Roediger und McDermott, 1995). Bereits vorbestehende Netzwerke können eine Konsolidierung von Neugelerntem beschleunigen und dessen Integrierung erleichtern (Tse et al., 2007). Dabei wurde der mediale Präfrontalkortex (englisch medial prefrontal cortex (mPFC)) als wichtige Schaltstelle vorgeschlagen, um Schemakongruenz zu überprüfen und eine direkte Integration in neokortikale Netzwerke zu fördern. Im Gegensatz dazu fehle laut Van Der Helm et al. (2011) diese Beschleunigung durch den mPFC bei der Erstellung von neuen Netzwerken und es werde eine längere Zeitspanne zur Schemaerstellung und Integration der Informationen benötigt. Im Widerspruch hierzu wurden in unserem Experiment bereits nach 20 Minuten Prototypen gleich häufig wie gelernte, alte Figuren erkannt. Eine Gist-Abstraktion konnte also sehr früh nachgewiesen werden. Erst nach 10 Stunden post-Enkodierung wurden Prototypen jedoch signifikant häufiger erkannt und ein Schlafeffekt auf die Abstraktion der Figurensatzes konnte erst nach einem Jahr mit multiplen NREM-REM-Schlafzyklen nachgewiesen werden.

Lewis und Durrant (2011) kommen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass eine Generalisierung von Erlebtem auch im Wachzustand möglich sei. Deshalb lassen sich bereits nach wenigen Stunden im Wachzustand Dekontextualisierungseffekte nachweisen (Cox et al., 2014; Sweegers und Talamini, 2014). Analog dazu kann es in unserem Experiment zu einer Abstraktion der gelernen Figuren sowohl nach 10 Stunden Schlaf als auch nach Wachheit gekommen sein.

Reaktivierungen von Erlebtem während des Wachzustands konnten sowohl an Tieren als auch an Menschen nachgewiesen werden (Hoffman und McNaughton, 2002; Peigneux et al., 2006). Möglicherweise kommt es dabei ebenfalls zur Abstraktion durch überlappende Reaktivierungen, allerdings weniger stark als während des SWS. Während des SWS kann die Kombination aus Reaktivierung von Erlebtem und Herunterskalierung kürzlich erlebter Erinnerungen (vgl. Abbildung 4.1) sowie fehlendem sensorischen Input und einem optimalen Milieu an Neurotransmittern eine verstärkende Wirkung auf die Dekontextualisierung und Abstraktion haben (Cairney et al., 2011; Deliens et al., 2013b; Djonlagic et al., 2009; Fischer et al., 2006; Gómez et al., 2006; Sterpenich et al., 2014). Diese Neuorganisation kann dann sogar zur Einsicht in versteckte Regeln und nach genügend Zeit zu deren Generalisierung und An-

wendung auf neue Informationen führen (Ellenbogen et al., 2007; Tamminen et al., 2012; Wagner et al., 2004).

4.8 Kritische Bewertung der Ergebnisse

In unserer Studie war im Gegensatz zum Langzeitabruf im Kurzzeitabruf kein Schlafeffekt auf Erinnerungsverfälschungen im Sinne einer Gist-Abstraktion festzustellen. Der fehlende Schlafeffekt im Kurzzeitabruf kann möglicherweise damit erklärt werden, dass unser Testverfahren einen solchen Effekt nicht sensitiv genug feststellen konnte. In der Tat scheinen Wiedererkennungstests weniger sensitiv für Schlafeffekte zu sein als das freie Abrufen (Diekelmann et al., 2008; McKeon et al., 2012; Wagner et al., 2007). Durch Konsolidierung können Informationen stärker in bestehende Netzwerke integriert werden, wobei der freie Abruf ohne Hinweise durch erneute Präsentation des Gelernten am meisten profitiert und somit den größten Schlafeffekt aufweist (Kahana et al., 2005). Die Studien von Frenda et al. (2014) und Diekelmann et al. (2008) deuten ebenso wie die Ergebnisse von Darsaud et al. (2011) auf eine größere Wichtigkeit von Enkodierungsstrategien als der Schlafkonsolidierung für die Kurzzeitperformance in Bezug auf Erinnerungsverfälschungen hin. Möglicherweise konnte demnach aufgrund vergleichbarer Enkodierungsstrategien und Gedächtnisleistung zwischen der Schlaf- und Wachbedingung in unserer Studie kein objektiv messbarer Unterschied für die Prototypen in der Kurzzeitleistung festgestellt werden.

In unserem Experiment waren die Wiedererkennungsraten für korrekt wiedererkannte alte Figuren in allen Bedingungen sehr hoch (vergleiche Tabelle 3.1), was auf eine allgemein gute Gedächtnisleistung hindeutet. Deshalb konnte das Experimentdesign möglicherweise nicht sensitiv genug die auf der Gist des Gelernten basierenden Schlafeffekte herausarbeiten (Diekelmann et al., 2010; McKeon et al., 2012; Watson et al., 2005). Der Großteil unserer Probanden beendete die Schule mit Abitur und befand sich gerade im Studium. Möglicherweise könnte ein Kollektiv an Probanden, welches weniger selektiv ist, Schlafeffekte besser zeigen (Watson et al., 2005).

Einige Studien stellten einen zirkadianen Einfluss auf die synaptische Plastizität von Tieren fest (Craig und McDonald, 2008; Ruby et al., 2008). In unserer Studie können wir diesen Einfluss nicht vollständig ausschließen, allerdings konnten wir in unseren Daten keinen Hinweis auf einen solchen finden. Die

Abend-/Morgenbedingung diente dabei als Kontrollgruppe für Zirkadianeinflüsse. Die Kontrollvariablen (SSS, Vigilanz, RWT, *Digit Span Test*) unterschieden sich nicht signifikant zwischen Probanden, die morgens oder abends getestet wurden. Unterstützt wird das zusätzlich durch die abhängigen Variablen (d.h. die Antworten auf Prototypen, alte und neue Figuren). In beiden Bedingungen waren, abgesehen von der subjektiven Sicherheit bezüglich der Bewertung von neuen Figuren in der Abend-/Morgenbedingung, ebenfalls keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Daraus folgern wir, dass unsere Ergebnisse sowohl im Kurzzeit- als auch im Langzeitabruf nicht durch zirkadiane Einflüsse, sondern vor allem durch einen Einfluss von Schlaf- vs. Wachzustand hervorgerufen wurden.

4.9 Ausblick

Zukünftige Forschung sollte sich der genaueren Untersuchung widmen, ob ein solcher langzeitstabilisierender Effekt von Schlaf auf Gist-Abstraktion reproduzierbar ist. Beispielsweise könnte eine Variation der Zeitabstände zwischen Enkodierung und Abruf neue Erkenntnisse über den Beginn und die Dauer sowie die Voraussetzungen eines solchen Effekts liefern. Möglicherweise könnten auch andere Testverfahren, die auf der Gist des Gelernten basierende Erinnerungsverfälschungen hervorrufen, wie z.B. das klassische, verbale DRM-Paradigma, als Vergleich dienen. Um die Entstehung von Erinnerungsverfälschungen besser zu verstehen, könnten Experimente, die Verfälschungen mittels Vorstellung oder Missinformation erzeugen, in Kombination mit einer vergleichbaren Langzeiterhebung, wie in unserem Experiment, zusätzliche Erkenntnisse bringen.

Eine fMRT Bildgebung könnte einen zusätzlichen Einblick in die Veränderung von Erinnerungsspuren (korrektes Gedächtnis und Erinnerungsverfälschungen) über Langzeit und deren zugrundeliegende neuronale Mechanismen liefern. Vermutet werden kann eine verstärkte Vernetzung und Reorganisation von hippocampalen und neokortikalen Repräsentationen (Gais et al., 2007). Zusätzlich könnten dabei Unterschiede im Kurz-/Langzeitabruf in Bezug auf aktive Areale zwischen Schlaf- und Wachprobanden untersucht werden. Zukünftige Experimente könnten ebenfalls den Einfluss verschiedener Schlafstadien im Vergleich zu einem vollständigen Schlafzyklus auf die Gist-Abstraktion untersuchen. Unser Experiment deutet auf einen Zusammenhang zwischen

REM-Schlaf und der Konsolidierung von episodischem Gedächtnis hin, was dabei überprüft werden könnte.

5 Zusammenfassung

Unser Gedächtnis stellt nach wie vor ein nicht völlig verstandenes Mysterium dar. Es muss Erinnerungen möglichst detailgetreu repräsentieren und trotzdem genügend Kapazität für die Aufnahme und Verarbeitung von neuen Informationen bieten. Ein Mechanismus dies zu gewährleisten, kann eine Abstraktion des Erlebten sein. Bestandteil dieser abstrakten Repräsentation ist die Gist, die Kerninformation des Erlebten. Gist Abstraktion kann durch Konsolidierungsprozesse im Schlaf unterstützt werden. Während diese Erinnerungsverarbeitung meistens Teil eines flexiblen Gedächtnisses ist, können im Verlauf auch Fehler, sogenannte Erinnerungsverfälschungen, entstehen: Wir meinen uns lebhaft an nie Erlebtes zu erinnern.

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie sich auf der Gist basierende Erinnerungsverfälschungen über multiple Konsolidierungsnächte verändern und ob eine Langzeitrepräsentation der Gist durch Schlaf beeinflusst wird. Den Schwerpunkt dieser Arbeit bildete ein Experiment, bei dem mittels eines visuellen, nonverbalen Figurenparadigmas der Einfluss von Schlaf auf Erinnerungsverfälschungen im Kurzzeit- (nach 20 Minuten und 10 Stunden) und im Langzeitabruf (nach einem Jahr) analysiert wurde.

Im Kurzzeitabruf erkannten und „erinnerten“ Probanden der Schlafbedingung im Vergleich zur Wachbedingung subjektiv signifikant sicherer vorher enko-dierte alte Figuren, was für ein stärkeres episodisches Gedächtnis der Schlafbedingung spricht. Zwischen der Wiedererkennungsrate von korrekt und sehr sicher erinnerten alten Figuren und REM-Schlaf bestand eine positive Korrelation.

Außerdem erkannten nur Probanden der Schlaf-/Wachbedingung die Gist im Vergleich zu alten, gelernten Figuren signifikant häufiger wieder. Eine effektive Gist Abstraktion war somit erst nach 10 Stunden, aber noch nicht nach 20 Minuten feststellbar. Im Langzeitabruf wurde nur die Gist in der Schlafbedingung über Zufallsniveau wiedererkannt, was sich auch in den Eyetrackerdaten widerspiegelte.

Die Ergebnisse sprechen für einen verstärkenden Kurzeffekt von Schlaf auf episodisches Gedächtnis. Bereits nach 10 Stunden in der Schlaf-/Wachbedingung war eine Gist Abstraktion des Gelernten nachweisbar. Ein positiver Langzeiteffekt von Schlaf auf die Gist Abstraktion konnte noch nach einem Jahr nachgewiesen werden, wenn Schlaf zeitnah auf die Enkodierung folgte.

Abschließend werden die Ergebnisse in den Kontext aktueller Forschungsergebnisse eingeordnet und vor diesem Hintergrund diskutiert. Die vorliegende Studie zeigt Hinweise auf einen positiven Langzeiteffekt von Schlaf auf die Gist Abstraktion. Um die Rolle von Schlaf in diesem Zusammenhang besser zu verstehen, ist jedoch noch weitere Forschungsarbeit nötig.

6 Literaturverzeichnis

- Amzica, F und M Steriade (1995). „Short-and long-range neuronal synchronization of the slow (< 1 Hz) cortical oscillation“. In: *Journal of neurophysiology* 73.1, S. 20–38.
- Aschenbrenner, Steffen, Oliver Tucha und Klaus W Lange (2000). *Regensburger Wortflüssigkeits-Test: RWT*. Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Barsky, Murray M, Matthew A Tucker und Robert Stickgold (2015). „REM sleep enhancement of probabilistic classification learning is sensitive to subsequent interference“. In: *Neurobiology of learning and memory* 122, S. 63–68.
- Boyce, Richard, Stephen D Glasgow, Sylvain Williams und Antoine Adamantidis (2016). „Causal evidence for the role of REM sleep theta rhythm in contextual memory consolidation“. In: *Science* 352.6287, S. 812–816.
- Brainerd, CJ und AH Mojardin (1998). „Children’s and Adults’ Spontaneous False Memories: Long-Term Persistence and Mere-Testing Effects“. In: *Child Development* 69.5, S. 1361–1377.
- Buzsáki, György (1989). „Two-stage model of memory trace formation: a role for “noisy” brain states“. In: *Neuroscience* 31.3, S. 551–570.
- Cai, Denise J, Sarnoff A Mednick, Elizabeth M Harrison, Jennifer C Kanady und Sara C Mednick (2009). „REM, not incubation, improves creativity by priming associative networks“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.25, S. 10130–10134.
- Cairney, Scott A, Simon J Durrant, Hazel Musgrove und Penelope A Lewis (2011). „Sleep and environmental context: interactive effects for memory“. In: *Experimental brain research* 214.1, S. 83–92.
- Callaway, Clifton W, Ralph Lydic, Helen A Baghdoyan und J Allan Hobson (1987). „Pontogeniculooccipital waves: Spontaneous visual system activity during rapid eye movement sleep“. In: *Cellular and molecular neurobiology* 7.2, S. 105–149.
- Carneiro, Paula, Leonel Garcia-Marques, Ana Lapa und Angel Fernandez (2016). „Explaining the persistence of false memories: a proposal based on associative activation and thematic extraction“. In: *Memory*, S. 1–13.
- Chase, Michael H und Francisco R Morales (1990). „The atonia and myoclonia of active (REM) sleep“. In: *Annual review of psychology* 41.1, S. 557–584.
- Coane, Jennifer H, Dawn M McBride, Miia-Liisa Termonen und J Cooper Cutting (2016). „Categorical and associative relations increase false memory relative to purely associative relations“. In: *Memory & Cognition* 44.1, S. 37–49.
- Cox, Roy, Ron R Tijdens, Martijn M Meeter, Carly CG Sweegers und Lucia M Talamini (2014). „Time, not sleep, unbinds contexts from item memory“. In: *PloS one* 9.2, e88307.
- Craig, Laura A und Robert J McDonald (2008). „Chronic disruption of circadian rhythms impairs hippocampal memory in the rat“. In: *Brain research bulletin* 76.1, S. 141–151.
- Darsaud, Annabelle et al. (2011). „Does sleep promote false memories?“ In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 23.1, S. 26–40.
- Deese, James (1959). „On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall.“ In: *Journal of experimental psychology* 58.1, S. 17.
- Deliens, Gaétane und Philippe Peigneux (2014). „One night of sleep is insufficient to achieve sleep-to-forget emotional decontextualisation processes“. In: *Cognition & emotion* 28.4, S. 698–706.
- Deliens, Gaétane, Daniel Neu und Philippe Peigneux (2013a). „Rapid eye movement sleep does not seem to unbind memories from their emotional context“. In: *Journal of sleep research* 22.6, S. 656–662.
- Deliens, Gaetane, Medhi Gilson, Remy Schmitz und Philippe Peigneux (2013b). „Sleep unbinds memories from their emotional context“. In: *cortex* 49.8, S. 2221–2228.
- Dewhurst, Stephen A, Craig Thorley, Emily R Hammond und Thomas C Ormerod (2011). „Convergent, but not divergent, thinking predicts susceptibility to associative memory illusions“. In: *Personality and Individual Differences* 51.1, S. 73–76.

- Diekelmann, Susanne, Hans-Peter Landolt, Olaf Lahl, Jan Born und Ullrich Wagner (2008). „Sleep loss produces false memories“. In: *PLoS One* 3.10, e3512.
- Diekelmann, Susanne, Ines Wilhelm und Jan Born (2009). „The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation“. In: *Sleep medicine reviews* 13.5, S. 309–321.
- Diekelmann, Susanne, Jan Born und Ullrich Wagner (2010). „Sleep enhances false memories depending on general memory performance“. In: *Behavioural brain research* 208.2, S. 425–429.
- Diekelmann, Susanne, Ines Wilhelm, Ullrich Wagner und Jan Born (2011). „Elevated cortisol at retrieval suppresses false memories in parallel with correct memories“. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 23.4, S. 772–781.
- Diekelmann, Susanne, Ines Wilhelm, Ullrich Wagner und Jan Born (2013). „Sleep to implement an intention“. In: *Sleep* 36.1, S. 149–53.
- Djonlagic, Ina, Andrew Rosenfeld, Daphna Shohamy, Catherine Myers, Mark Gluck und Robert Stickgold (2009). „Sleep enhances category learning“. In: *Learning & Memory* 16.12, S. 751–755.
- Dudai, Yadin, Avi Karni und Jan Born (2015). „The consolidation and transformation of memory“. In: *Neuron* 88.1, S. 20–32.
- Durrant, Simon J, Charlotte Taylor, Scott Cairney und Penelope A Lewis (2011). „Sleep-dependent consolidation of statistical learning“. In: *Neuropsychologia* 49.5, S. 1322–1331.
- Durrant, Simon J, Scott A Cairney, Cathal McDermott und Penelope A Lewis (2015). „Schema-conformant memories are preferentially consolidated during REM sleep“. In: *Neurobiology of learning and memory* 122, S. 41–50.
- Eichenbaum, Howard (2000). „A cortical–hippocampal system for declarative memory“. In: *Nature Reviews Neuroscience* 1.1, S. 41–50.
- Ellenbogen, Jeffrey M, Justin C Hulbert, Robert Stickgold, David F Dinges und Sharon L Thompson-Schill (2006). „Interfering with theories of sleep and memory: sleep, declarative memory, and associative interference“. In: *Current Biology* 16.13, S. 1290–1294.
- Ellenbogen, Jeffrey M, Peter T Hu, Jessica D Payne, Debra Titone und Matthew P Walker (2007). „Human relational memory requires time and sleep“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104.18, S. 7723–7728.
- Ellenbogen, Jeffrey M, Justin C Hulbert, Ying Jiang und Robert Stickgold (2009). „The sleeping brain’s influence on verbal memory: boosting resistance to interference“. In: *PLoS One* 4.1, e4117.
- Fenn, Kimberly M, David A Gallo, Daniel Margoliash, Henry L Roediger und Howard C Nusbaum (2009). „Reduced false memory after sleep“. In: *Learning & Memory* 16.9, S. 509–513.
- Fischer, Stefan, Spyridon Drosopoulos, Jim Tsen und Jan Born (2006). „Implicit learning–explicit knowing: a role for sleep in memory system interaction“. In: *Journal of cognitive neuroscience* 18.3, S. 311–319.
- Frenda, Steven J, Lawrence Patihis, Elizabeth F Loftus, Holly C Lewis und Kimberly M Fenn (2014). „Sleep deprivation and false memories“. In: *Psychological science*, S. 1674–1681.
- Gais, Steffen und Jan Born (2004). „Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101.7, S. 2140–2144.
- Gais, Steffen, Brian Lucas und Jan Born (2006). „Sleep after learning aids memory recall“. In: *Learning & Memory* 13.3, S. 259–262.
- Gais, Steffen et al. (2007). „Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104.47, S. 18778–18783.
- Gallo, David A und Henry L Roediger III (2002). „Variability among word lists in eliciting memory illusions: Evidence for associative activation and monitoring“. In: *Journal of Memory and Language* 47.3, S. 469–497.
- Garoff-Eaton, Rachel J, Scott D Slotnick und Daniel L Schacter (2006). „Not all false memories are created equal: the neural basis of false recognition“. In: *Cerebral Cortex* 16.11, S. 1645–1652.

- Girardeau, Gabrielle, Karim Benchenane, Sidney I Wiener, György Buzsáki und Michaël B Zugaro (2009). „Selective suppression of hippocampal ripples impairs spatial memory“. In: *Nature neuroscience* 12.10, S. 1222–1223.
- Gómez, Rebecca L, Richard R Bootzin und Lynn Nadel (2006). „Naps promote abstraction in language-learning infants“. In: *Psychological Science* 17.8, S. 670–674.
- Gonsalves, Brian, Paul J Reber, Darren R Gitelman, Todd B Parrish, M-Marsel Mesulam und Ken A Paller (2004). „Neural evidence that vivid imagining can lead to false remembering“. In: *Psychological Science* 15.10, S. 655–660.
- Hoddes, Eric, Vincent Zarcone und William Dement (1972). „Development and use of Stanford Sleepiness scale (SSS)“. In: *Psychophysiology*. Bd. 9. 1. CAMBRIDGE UNIV PRESS 40 WEST 20TH STREET, NEW YORK, NY 10011-4211, S. 150.
- Hoffman, KL und BL McNaughton (2002). „Coordinated reactivation of distributed memory traces in primate neocortex“. In: *Science* 297.5589, S. 2070–2073.
- Howe, Mark L, Sarah R Garner, Monica Charlesworth und Lauren Knott (2011). „A brighter side to memory illusions: False memories prime children’s and adults’ insight-based problem solving“. In: *Journal of experimental child psychology* 108.2, S. 383–393.
- Inostroza, Marion und Jan Born (2013). „Sleep for preserving and transforming episodic memory“. In: *Annual review of neuroscience* 36, S. 79–102.
- Jasper, Herbert H (1958). „The ten twenty electrode system of the international federation“. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 10, S. 371–375.
- Jenkins, John G und Karl M Dallenbach (1924). „Obliviscence during sleep and waking“. In: *The American Journal of Psychology* 35.4, S. 605–612.
- Jurewicz, Katarzyna, Maren Jasmin Cordi, Tobias Staudigl und Björn Rasch (2016). „No Evidence for Memory Decontextualization across One Night of Sleep“. In: *Frontiers in human neuroscience* 10.
- Kahana, Michael J, Daniel S Rizzuto und Abraham R Schneider (2005). „Theoretical correlations and measured correlations: relating recognition and recall in four distributed memory models.“ In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 31.5, S. 933.
- Kandel, Eric R, James H Schwartz, Thomas M Jessell, Steven A Siegelbaum, A James Hudspeth et al. (2012). *Principles of neural science*. Bd. 5. McGraw-hill New York.
- Kesteren, Marlieke TR van, Dirk J Ruiter, Guillén Fernández und Richard N Henson (2012). „How schema and novelty augment memory formation“. In: *Trends in neurosciences* 35.4, S. 211–219.
- Kim, Hongkeun und Roberto Cabeza (2009). „Common and specific brain regions in high-versus low-confidence recognition memory“. In: *Brain research* 1282, S. 103–113.
- Lewis, PA, S Cairney, L Manning und HD Critchley (2011). „The impact of overnight consolidation upon memory for emotional and neutral encoding contexts“. In: *Neuropsychologia* 49.9, S. 2619–2629.
- Lewis, Penelope A und Simon J Durrant (2011). „Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata“. In: *Trends in cognitive sciences* 15.8, S. 343–351.
- Libby, Lisa K und Ulric Neisser (2001). „Structure and strategy in the associative false memory paradigm“. In: *Memory* 9.3, S. 145–163.
- Llinas, Rodolfo und Urs Ribary (1993). „Coherent 40-Hz oscillation characterizes dream state in humans.“ In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 90.5, S. 2078–2081.
- Lo, June C, SK Sim und MW Chee (2014). „Sleep reduces false memory in healthy older adults“. In: *Sleep* 37.4, S. 665–671.
- Marshall, Lisa und Jan Born (2007). „The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation“. In: *Trends in cognitive sciences* 11.10, S. 442–450.
- McDermott, Kathleen B (1996). „The persistence of false memories in list recall“. In: *Journal of Memory and Language* 35.2, S. 212–230.
- McDevitt, Elizabeth A, Katherine A Duggan und Sara C Mednick (2015). „REM sleep rescues learning from interference“. In: *Neurobiology of learning and memory* 122, S. 51–62.
- McKeon, Shannon, Edward F Pace-Schott und Rebecca MC Spencer (2012). „Interaction of sleep and emotional content on the production of false memories“. In: *PloS one* 7.11, e49353.

- Miller, Michael B und Michael S Gazzaniga (1998). „Creating false memories for visual scenes“. In: *Neuropsychologia* 36.6, S. 513–520.
- Mölle, Matthias, Oxana Yeshenko, Lisa Marshall, Susan J Sara und Jan Born (2006). „Hippocampal sharp wave-ripples linked to slow oscillations in rat slow-wave sleep“. In: *Journal of neurophysiology* 96.1, S. 62–70.
- Moscovitch, Morris, Lynn Nadel, Gordon Winocur, Asaf Gilboa und R Shayna Rosenbaum (2006). „The cognitive neuroscience of remote episodic, semantic and spatial memory“. In: *Current opinion in neurobiology* 16.2, S. 179–190.
- Nadel, Lynn, A Samsonovich, Lee Ryan und Morris Moscovitch (2000). „Multiple trace theory of human memory: computational, neuroimaging, and neuropsychological results“. In: *Hippocampus* 10.4, S. 352–368.
- Pardilla-Delgado, Enmanuelle und Jessica D Payne (2017). „The impact of sleep on true and false memory across long delays“. In: *Neurobiology of Learning and Memory* 137, S. 123–133.
- Payne, Jessica D, Daniel L Schacter, Ruth E Propper, Li-Wen Huang, Erin J Wamsley, Matthew A Tucker, Matthew P Walker und Robert Stickgold (2009). „The role of sleep in false memory formation“. In: *Neurobiology of learning and memory* 92.3, S. 327–334.
- Payne, Jessica D, Matthew A Tucker, Jeffrey M Ellenbogen, Erin J Wamsley, Matthew P Walker, Daniel L Schacter und Robert Stickgold (2012). „Memory for semantically related and unrelated declarative information: the benefit of sleep, the cost of wake“. In: *PLoS One* 7.3, e33079.
- Peigneux, Philippe, Pierre Orban, Evelyne Balteau, Christian Degueldre, André Luxen, Steven Laureys und Pierre Maquet (2006). „Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness“. In: *PLoS Biol* 4.4, e100.
- Plihal, Werner und Jan Born (1997). „Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory“. In: *Journal of cognitive neuroscience* 9.4, S. 534–547.
- Rasch, Björn und Jan Born (2007). „Maintaining memories by reactivation“. In: *Current opinion in neurobiology* 17.6, S. 698–703.
- Rasch, Björn und Jan Born (2015). „In search of a role of REM sleep in memory formation.“ In: *Neurobiology of learning and memory* 122, S. 1.
- Rasch, Björn, Christian Büchel, Steffen Gais und Jan Born (2007). „Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation“. In: *Science* 315.5817, S. 1426–1429.
- Rauchs, Géraldine, Françoise Bertran, Bérengère Guillery-Girard, Béatrice Desgranges, Nacer Kerrouche, Pierre Denise, Jean Foret und Francis Eustache (2004). „Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep“. In: *SLEEP-NEW YORK THEN WESTCHESTER*- 27.3, S. 395–401.
- Rechtschaffen, Allan und Anthony Kales (1968). „A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects“. In:
- Reyna, Valerie F und Charles J Brainerd (1998). „Fuzzy-trace theory and false memory: New frontiers“. In: *Journal of experimental child psychology* 71.2, S. 194–209.
- Reyna, Valerie F, Jonathan C Corbin, Rebecca B Weldon und Charles J Brainerd (2016). „How fuzzy-trace theory predicts true and false memories for words, sentences, and narratives“. In: *Journal of applied research in memory and cognition* 5.1, S. 1–9.
- Roediger, Henry L und Kathleen B McDermott (1995). „Creating false memories: Remembering words not presented in lists.“ In: *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition* 21.4, S. 803.
- Roediger III, Henry, Kathleen McDermott, David Pisoni und David Gallo (2004). „Illusory recollection of voices“. In: *Memory* 12.5, S. 586–602.
- Roediger III, Henry L, J Derek Jacoby und Kathleen B McDermott (1996). „Misinformation effects in recall: Creating false memories through repeated retrieval“. In: *Journal of Memory and Language* 35.2, S. 300–318.
- Roediger III, Henry L, David A Balota und Jason M Watson (2001). „Spreading activation and arousal of false memories“. In: *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder*, S. 95–115.

- Ruby, Norman F, Calvin E Hwang, Colin Wessells, Fabian Fernandez, Pei Zhang, Robert Sapolsky und H Craig Heller (2008). „Hippocampal-dependent learning requires a functional circadian system“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105.40, S. 15593–15598.
- Schacter, Daniel L, Scott A Guerin und Peggy L St Jacques (2011). „Memory distortion: An adaptive perspective“. In: *Trends in cognitive sciences* 15.10, S. 467–474.
- Slotnick, Scott D und Daniel L Schacter (2004). „A sensory signature that distinguishes true from false memories“. In: *Nature neuroscience* 7.6, S. 664–672.
- Soylu, Firat (2010). *Forward / Backward Digit-Span Task*. URL: http://www.neurobs.com/ex_files/expt_view?id=218 (besucht am 12. 11. 2016).
- Squire, Larry R und Pablo Alvarez (1995). „Retrograde amnesia and memory consolidation: a neurobiological perspective“. In: *Current opinion in neurobiology* 5.2, S. 169–177.
- Squire, Larry R und Stuart M Zola (1996). „Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems“. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93.24, S. 13515–13522.
- Stadler, Michael A, Henry L Roediger und Kathleen B McDermott (1999). „Norms for word lists that create false memories“. In: *Memory & cognition* 27.3, S. 494–500.
- Steriade, M und F Amzica (1997). „Coalescence of sleep rhythms and their chronology in corticothalamic networks.“ In: *Sleep research online: SRO* 1.1, S. 1–10.
- Sterpenich, Virginie et al. (2014). „Memory reactivation during rapid eye movement sleep promotes its generalization and integration in cortical stores“. In: *Sleep* 37.6, S. 1061.
- Stickgold, Robert und Matthew P Walker (2007). „Sleep-dependent memory consolidation and reconsolidation“. In: *Sleep medicine* 8.4, S. 331–343.
- Sugrue, Katrina und Harlene Hayne (2006). „False memories produced by children and adults in the DRM paradigm“. In: *Applied Cognitive Psychology* 20.5, S. 625–631.
- Sweegers, Carly CG und Lucia M Talamini (2014). „Generalization from episodic memories across time: A route for semantic knowledge acquisition“. In: *Cortex* 59, S. 49–61.
- Talamini, Lucia M und Eva Gorree (2012). „Aging memories: Differential decay of episodic memory components“. In: *Learning & Memory* 19.6, S. 239–246.
- Tamminen, Jakke, Matthew H Davis, Marjolein Merx und Kathleen Rastle (2012). „The role of memory consolidation in generalisation of new linguistic information“. In: *Cognition* 125.1, S. 107–112.
- Tamminen, Jakke, Matthew A Lambon Ralph und Penelope A Lewis (2013). „The role of sleep spindles and slow-wave activity in integrating new information in semantic memory“. In: *The Journal of Neuroscience* 33.39, S. 15376–15381.
- The Eye Tribe ApS (2014). *The Eye Tribe Developer Site*. URL: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/theeyetribe.com/theeyetribe.com/dev/general/index.html> (besucht am 27. 07. 2017).
- Thompson, Jeffrey (2009). *Brainwave Music System*. [CD-ROM].
- Tononi, Giulio und Chiara Cirelli (2014). „Sleep and the price of plasticity: from synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration“. In: *Neuron* 81.1, S. 12–34.
- Tse, Dorothy, Rosamund F Langston, Masaki Takeyama, Ingrid Bethus, Patrick A Spooner, Emma R Wood, Menno P Witter und Richard GM Morris (2007). „Schemas and memory consolidation“. In: *Science* 316.5821, S. 76–82.
- Tulving, Endel (1985). „Elements of episodic memory“. In:
- Tulving, Endel (2002). „Episodic memory: from mind to brain“. In: *Annual review of psychology* 53.1, S. 1–25.
- Van Der Helm, Els, Ninad Gujar, Masaki Nishida und Matthew P Walker (2011). „Sleep-dependent facilitation of episodic memory details“. In: *PLoS one* 6.11, e27421.
- Verfaellie, Mieke, Daniel L Schacter und Shaun P Cook (2002). „The effect of retrieval instructions on false recognition: exploring the nature of the gist memory impairment in amnesia“. In: *Neuropsychologia* 40.13, S. 2360–2368.
- Wagner, Ullrich, Steffen Gais, Hilde Haider, Rolf Verleger und Jan Born (2004). „Sleep inspires insight“. In: *Nature* 427.6972, S. 352–355.

- Wagner, Ullrich, Manfred Hallschmid, Björn Rasch und Jan Born (2006). „Brief sleep after learning keeps emotional memories alive for years“. In: *Biological psychiatry* 60.7, S. 788–790.
- Wagner, Ullrich, Naveen Kashyap, Susanne Diekelmann und Jan Born (2007). „The impact of post-learning sleep vs. wakefulness on recognition memory for faces with different facial expressions“. In: *Neurobiology of learning and memory* 87.4, S. 679–687.
- Walker, Matthew P und Robert Stickgold (2004). „Sleep-dependent learning and memory consolidation“. In: *Neuron* 44.1, S. 121–133.
- Watson, Jason M, Michael F Bunting, Bradley J Poole und Andrew RA Conway (2005). „Individual differences in susceptibility to false memory in the Deese-Roediger-McDermott paradigm.“ In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 31.1, S. 76.
- Wellach, Ingmar (2011). *Praxisbuch EEG: Einführung in die Befundung, Beurteilung und Differenzialdiagnose*. Georg Thieme Verlag.
- Wells, Gary L und Elizabeth A Olson (2003). „Eyewitness testimony“. In: *Annual Review of Psychology* 54.1, S. 277–295.
- Yassa, Michael A und Zachariah M Reagh (2013). „Competitive trace theory: a role for the hippocampus in contextual interference during retrieval“. In: *Frontiers in behavioral neuroscience* 7.

A Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde im Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie unter Betreuung von Prof. Dr. Jan Born durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Jan Born, Dr. Karsten Rauss, Post-Doc, Dr. Susanne Diekelmann, Post-Doc, und Nicolas Lutz, PhD-Student.

Die Presentation(R)-Skripts für die Enkodierung und den Kurzzeitabruf wurden von mir mit Hilfe von Nicolas Lutz programmiert. Die Programmierung des Presentation(R)-Skripts für den Langzeitabruf erfolgte durch Nicolas Lutz.

Sämtliche Versuche wurden nach Einarbeitung durch Nicolas Lutz von mir eigenständig durchgeführt.

Die Datenverarbeitung erfolgte durch Nicolas Lutz. Die statistische Analyse erfolgte durch Nicolas Lutz und Karsten Rauss, die mich zum selbständigen Nachvollziehen der Ergebnisse angeleitet haben.

Ich versichere, das vorliegende Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

B Publikation

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in der folgenden Publikation veröffentlicht:

Lutz, N. D., Diekelmann, S., Hinse-Stern, P., Born, J., & Rauss, K. (2017). Sleep Supports the Slow Abstraction of Gist from Visual Perceptual Memories. In: Scientific Reports 7.

C Danksagung

Zunächst gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Jan Born für die freundliche Überlassung des spannenden Dissertationsthemas und die herzliche Aufnahme in das Institutsteam, in welchem ich mich sehr wohl gefühlt habe.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinen Betreuern, Dr. Karsten Rauss und Nicolas Lutz, für die tatkräftige Unterstützung bei der Planung, Durchführung und Dokumentation der Experimente. Beide fanden immer zeitnah eine Möglichkeit, meine Fragen zu beantworten und hatten immer ein offenes Ohr oder einen Rat für mich.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Susanne Diekelmann, deren Erfahrung einen großen Teil zum Gelingen der Experimente beigetragen hat, und Michael Radloff, der mir in vielen Momenten mit Rat und Tat zur Seite stand.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei allen anderen Mitarbeitern und Mitdoktoranden des Instituts für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie bedanken, die zu einer so angenehmen Atmosphäre im Institut beigetragen haben, sodass mir die Arbeit tags und nachts wirklich Spaß gemacht hat. Nicht nur meine Betreuer haben mir oft einen hilfreichen Rat gegeben, sondern ich habe das gesamte Institut als außerordentlich hilfsbereit erlebt.

Zum Schluss möchte ich meiner Familie und Freunden ganz herzlich danken, die mir während der gesamten Promotionszeit mit viel Verständnis und Geduld zur Seite standen.

D Anhang

Kurzzeitabruf-Ablauf

Ablauf	Schlafbedingung	Wachbedingung
Enkodierung		
1. Elektroden anbringen	21:00	-----
2. Wortflüssigkeitstest	22:10	9:10
3. Digit Span Test	22:14	9:14
4. Vigilanztest	22:24	9:24
5. Stanford Sleepiness Scale	22:29	9:29
6. Enkodierungsphase	22:30	9:30
7. Stanford Sleepiness Scale	22:59	9:59
8. Polysomnographie (Schlafbedingung)/ Actiwatch (Wachbedingung)	23:00	10:00
Abruf		
1. Aufwachen (Schlafbedingung)/ Ankunft im Labor (Wachbedingung)	7:00	19:15
2. Stanford Sleepiness Scale	8:29	19:29
3. Abruf	8:30	19:30
4. Stanford Sleepiness Scale	8:50	19:50
5. Vigilanztest	8:51	19:51
6. Wortflüssigkeitstest	8:56	19:56
7. Digit Span Test	8:58	19:58
8. Debriefing	9:08	20:08

Langzeitabruf-Ablauf

Abruf	Proband 1	Proband 2
1. <i>Ankunft im Labor</i>	16:30	17:30
2. <i>Studieninformation</i>	16:30	17:30
3. <i>Probandendaten</i>	16:35	17:35
4. <i>Vigilanztest</i>	16:40	17:40
5. <i>Stanford Sleepiness Scale</i>	16:45	17:45
6. <i>Eyetracker kalibrieren</i>	16:46	17:46
7. <i>2AFC Test</i>	16:51	17:51
8. <i>30 Minuten Pause</i>	17:06	18:06
9. <i>Stanford Sleepiness Scale</i>	17:36	18:36
10. <i>Abruf Set A und B</i>	17:37	18:37
11. <i>Debriefing</i>	17:47	18:47

RWT

Untertest:

K-Wörter

B-Wörter

Probanden-Code:

Datum:

Uhrzeit:

Bei dieser Aufgabe sollen Sie innerhalb von 2 Minuten möglichst viele verschiedene Wörter mit einem bestimmten Anfangsbuchstaben aufschreiben, den Ihnen der Versuchsleiter nennen wird. Dabei dürfen Sie keine Wörter mehrfach nennen, keine Eigennamen benutzen (z.B. Paris oder Peter wäre falsch) und die Wörter dürfen nicht mit dem gleichen Wortstamm anfangen (z.B. Sport, Sportplatz, Sportschuhe wäre falsch).
Bitte versuchen Sie möglichst schnell viele verschiedene Wörter aufzuschreiben.

Stanford Schläfrigkeitsskala

Probanden - Code:

Uhrzeit:

Dies ist ein kurzer Fragebogen, um zu erfassen wie munter Sie sich fühlen. Bitte schätzen Sie ein, wie Sie sich jetzt im Moment fühlen, indem Sie die jeweilige Zahl ankreuzen (es ist nur ein Kreuz möglich)!

Grad der Schläfrigkeit	Einschätzung
Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach	1
Ich funktioniere sehr gut, aber nicht mit Spitzenleistung; ich kann mich konzentrieren	2
Ich bin wach, aber entspannt; ich kann reagieren, bin aber nicht voll aufmerksam	3
Ich bin etwas müde, fühle mich schlapp	4
Ich fühle mich müde und verlangsamt; habe keine Lust mehr wach zu bleiben	5
Ich fühle mich schläfrig, benebelt; kämpfe mit dem Schlaf; würde mich lieber hinlegen	6
Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen; habe traumähnliche Gedanken	7
Schlafen	X