

Aus dem Institut für Neuroendokrinologie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. Jan Born

Einfluss von Intention auf die
schlafabhängige Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte

Inauguraldissertation

zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
- Aus der Medizinischen Fakultät -

Vorgelegt von
Isabelle Maria Schlüter
Aus Braunschweig

Lübeck 2010

1. Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. soc. Jan Born
2. Berichterstatter:	Priv.-Doz. Dr. med. Peter Trillenber
Tag der mündlichen Prüfung:	27.02.2012
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den	27.02.2012
Promotionskommission der Sektion Medizin	

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Theoretischer Hintergrund	7
2.1 Gedächtnis	7
2.1.1 Subsysteme des Gedächtnisses	7
2.1.2 Neuroanatomische Korrelate der Gedächtnissysteme	9
2.1.3 Prozesse der Gedächtnisbildung	10
2.1.4 Mechanismen der Gedächtniskonsolidierung	10
2.1.5 Einfluss von Intention auf die Gedächtnisbildung	12
2.2 Schlaf	13
2.2.1 Schlafstadien	14
2.2.2 Schlafzyklus	14
2.2.3 Funktionen von Schlaf	15
2.3 Schlafabhängige Gedächtniskonsolidierung	15
2.3.1 Einfluss spezifischer Schlafstadien auf die Gedächtniskonsolidierung	16
2.3.2 Neuronale Reaktivierung – Mechanismus der schlafabhängigen Gedächtniskonsolidierung	18
2.3.3 Einflussfaktoren der schlafabhängigen Gedächtniskonsolidierung	19
2.4 Fragestellung und Hypothesen	20
3 Material und Methoden	22
3.1 Versuchspersonen	22
3.2 Schlaflabor und Polysomnographie	23
3.3 Versuchsablauf	24
3.4 Material	28
3.4.1 Fingertapping-Aufgabe	28
3.4.2 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	29
3.4.3 Stanford-Schläfrigkeitsskala	29
3.4.4 Abschlussfragebogen	30
3.5 Datenreduktion und statistische Auswertung	30

4	Ergebnisse	32
	4.1 Probandenkollektiv	32
	4.2 Kognitive Daten	33
	4.2.1 Fingertapping-Aufgabe – Lernphase	33
	4.2.2 Fingertapping-Aufgabe – Konsolidierungsphase	34
	4.2.3 Vergleich der Gruppen ‘mit Intention’, ‘ohne Intention’ und ‘Antizipation’	38
	4.3 Schlafdaten	40
	4.4 Kontrollvariablen	41
	4.4.1 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	41
	4.4.2 Stanford-Schläfrigkeitsskala	43
5	Diskussion	45
6	Zusammenfassung	55
7	Literaturverzeichnis	57
	Anhang	68
	A Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	68
	B Instruktionen	70
	C Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	72
	D Stanford-Schläfrigkeitsskala	74
	E Abschlussfragebogen	75
	Danksagung	76
	Lebenslauf	77

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	analysis of variance (Varianzanalyse)
EEG	Elektroencephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrooculogramm
G.	Gedächtnis
LZG	Langzeitgedächtnis
LZP	Langzeitpotenzierung
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
MTL	mediales Temporallappensystem
MW	Mittelwert
NREM	Non-Rapid Eye Movement
REM	Rapid Eye Movement
S1–4	Schlafstadien 1 bis 4
SEM	standard error of mean (Standardfehler des Mittelwertes)
SSS	Stanford-Schläfrigkeitsskala
SWS	slow wave sleep (Tiefschlaf)

1 Einleitung

Schlaf ist ein lebensnotwendiger, regelmäßig wiederkehrender Zustand verminderten Bewusstseins. Währenddessen kommt es zu einer Verlangsamung allgemeiner Körperfunktionen: Puls- und Atemfrequenz, Blutdruck, Temperatur und Muskeltonus sinken, Stoffwechselprozesse laufen reduziert ab. Jahrhundertlang gab die Funktion dieses dem Anschein nach nutzlosen, aber aufgrund der Wehrlosigkeit risikobehafteten Zustands Forschern Rätsel auf. Heutzutage gilt die Gedächtniskonsolidierung – neben regenerativen Vorgängen – als eine der Hauptaufgaben des Schlafs.

Gedächtnis ist eine Funktion des menschlichen Gehirns, die im wesentlichen aus der Aufnahme, Speicherung und Stabilisierung sowie dem Erinnern von Informationen besteht. Gedächtniskonsolidierung bezeichnet diesbezüglich die Festigung neu erlernter Inhalte. Nach derzeitigem Wissensstand geschieht dies maßgeblich während des Schlafs. Demzufolge werden im Schlaf neuronale Netze, die während des Lernens involviert waren, reaktiviert, was zu einer Verstärkung, Vernetzung und Langzeitspeicherung der neuen Gedächtnisinhalte führt. Die mit Schlaf einhergehende Bewusstlosigkeit könnte demnach dazu dienen, dass diese Stabilisierungsvorgänge nicht durch neu wahrgenommene Reize gestört werden. Schlaf und die damit assoziierte neuronale Plastizität sind daher essentielle Bestandteile der Gedächtnisfunktion (Peigneux et al., 2001; Walker und Stickgold, 2006).

Verschiedenste Faktoren – darunter Intention – üben Einfluss auf die Gedächtnisbildung aus. Unter Intention versteht man die Absicht, eine bestimmte Handlung an einem definierten Zeitpunkt in der Zukunft auszuführen. Informationen, die mit einer Intention verknüpft sind, liegen im Gedächtnis auf einem höheren Aktivierungsniveau vor als nicht-intentionale Inhalte und werden dementsprechend besser erinnert (Goschke und Kuhl, 1993). Es besteht demnach ein positiver Effekt von Intention auf die allgemeine, nicht schlafassoziierte Gedächtnisbildung.

Das Anliegen dieser Studie war, zu untersuchen, inwieweit Intentionen einen Einfluss auf die schlafabhängige Gedächtniskonsolidierung ausüben. Die vorliegende Arbeit analysiert diesbezüglich Ergebnisse, welche sich auf das prozedurale Gedächtnis – ein Subsystem des Gedächtnisses – beziehen (Ergebnisse zum deklarativen Gedächtnis werden in einer weiteren Arbeit behandelt).

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Gedächtnis

Grundvoraussetzung der Gedächtnisfunktion stellt die Fähigkeit des Gehirns zu lernen dar. Lernen bezeichnet alle Verhaltensänderungen, die auf gemachten Erfahrungen beruhen (Lefrancois, 1994). Gedächtnis ist die Leistung des Gehirns, neue Inhalte zu erlernen, dauerhaft zu speichern, in bereits bestehende Erinnerungsnetzwerke zu integrieren und später zu erinnern. Die stetige Erweiterung und Überarbeitung der langfristig gespeicherten Informationen bildet letztendlich die Grundlage individuellen Handelns und Verhaltens.

2.1.1 Subsysteme des Gedächtnisses

Das menschliche Gedächtnis lässt sich hinsichtlich der zeitlichen Speicherkapazität grob in drei Teilsysteme gliedern (Atkinson und Shiffrin, 1968): Das sensorische Gedächtnis (Ultrakurzzeitgedächtnis) nimmt aus der Umgebung eintreffende Reize ungefiltert wahr und verfügt über diese nur wenige Millisekunden lang. Danach werden einige der registrierten Informationen – während der größere Teil unbemerkt verloren geht – in das Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsgedächtnis) übernommen und dort für Sekunden bis Minuten bearbeitet. Erst durch die Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung dieser Inhalte im Langzeitgedächtnis stehen sie der Person dauerhaft zur Verfügung. Man nimmt heutzutage an, dass dessen räumliche und auch zeitliche Speicherkapazitäten praktisch unbegrenzt sind.

Da sich die vorliegende Arbeit auf Prozesse des Langzeitgedächtnisses bezieht, wird dessen aktuell etablierte Einteilung hier ausführlich dargestellt. Man klassifiziert das Langzeitgedächtnis üblicherweise nach der Qualität der Gedächtnisinhalte: Es setzt sich aus zwei Systemen zusammen, die sich auf inhaltlicher und funktioneller Ebene unterscheiden: dem deklarativen und dem non-deklarativen Gedächtnis (Squire, 1992).

Das deklarative Gedächtnis speichert fakten- oder ereignisbezogene Inhalte, die der bewussten (expliziten) Erinnerung zugänglich sind. Charakteristischerweise lassen sich diese Inhalte verbalisieren (‘deklarieren’) (Cohen und Squire, 1980). Lernen, Existenz und Abruf bestimmter Daten sind im Bewusstsein verankert. Das deklarative Gedächtnis lässt sich wiederum in zwei Untereinheiten differenzieren (Tulving, 1972): Das semantische Gedächtnis beinhaltet das sogenannte Weltwissen, in dem beispielsweise Regeln, Fakten oder Wortbedeutungen gespeichert werden (z.B. Madrid ist die Hauptstadt Spaniens.). Diese Inhalte werden in Bedeutungszusammenhänge eingeordnet, haben aber keinen

Bezug zur Person oder zur Zeit der Informationsaufnahme. Das episodische Gedächtnis indessen speichert autobiographische Ereignisse und Erfahrungen in einem definierten zeitlich-räumlichen sowie emotionalen Kontext (z.B. Was habe ich heute morgen gefrühstückt?).

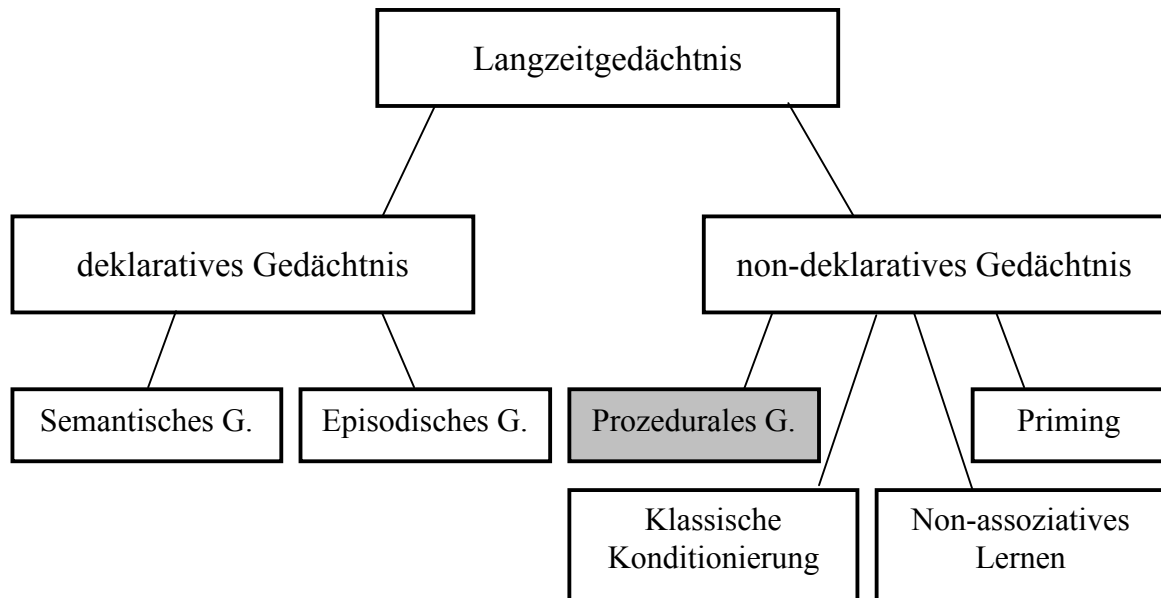


Abbildung 1. Schematische Einteilung des Langzeitgedächtnisses (modifiziert nach Squire und Zola, 1996).

Das non-deklarative (prozedurale) Gedächtnis wird als ein System verschiedenster Leistungen aufgefasst (Squire und Zola-Morgan, 1988). Wichtigster Bestandteil dieses Systems ist das prozedurale Gedächtnis, welches verantwortlich ist für die Aneignung motorischer (Brooks und Baddeley, 1976), perzeptueller (Cohen und Squire, 1980) und kognitiver Fertigkeiten (Squire und Frambach, 1990). Im Rahmen von neurokognitiven Studien wird vorwiegend das prozedurale Lernen untersucht. Weiterhin gehört in den non-deklarativen Komplex das Priming, das für eine verbesserte Erfassung und Verarbeitung perzeptiver Reize durch mit diesen Reizen assoziierten, gerade erlebten Erfahrungen steht (Tulving und Schacter, 1990). Auch die klassische Konditionierung wird dem non-deklarativen Gedächtnis zugeordnet (Pavlov, 1927). Darunter versteht man eine neu erlernte Assoziation von zuvor nicht verbundenen Reizen, die zu veränderten Reiz-Reaktions-Mustern führen. All diese Subsysteme erfassen Verhaltensgewohnheiten und Fertigkeiten (z.B. Schwimmen, Geige spielen), welche – einmal durch wiederholtes Üben eingeprägt – oft lebenslang zur Verfügung stehen. Lernzuwachs äußert sich als

modifizierte Verhaltensweise oder Fertigkeit. Charakteristischerweise finden sowohl Lernvorgang als auch Anwendung des Gelernten überwiegend unbewusst (implizit) statt und sind kaum verbalisierbar (Graf und Schacter, 1985; Schacter, 1987; Shanks und St John, 1994).

2.1.2 Neuroanatomische Korrelate der Gedächtnissysteme

Deklaratives und prozedurales Gedächtnis lassen sich neben Funktionsweise und Inhalt auch durch die beteiligten neuroanatomischen Strukturen voneinander abgrenzen (Squire et al., 1993). Die Erkenntnis, dass verschiedene Gedächtnisformen funktionell mit spezifischen Hirnstrukturen assoziiert sind, gewann man durch Beobachtungen an Menschen und Tieren mit lokalisierten cerebralen Läsionen, welche selektive Gedächtnisausfälle verursachten: Scoville und Milner (1957) publizierten beispielsweise den Fall des Patienten H.M., der unter schwerer Epilepsie litt, welche durch bilaterale Resektion des medialen Temporallappens behandelt werden sollte. Das mediale Temporallappensystem (MTL) besteht vorwiegend aus Hippocampus und angrenzenden entorhinalen, perirhinalen und parahippocampalen Cortices. Neben der erwünschten Linderung der Epilepsie hatte die Operation allerdings eine persistierende anterograde Amnesie deklarativer Gedächtnisinhalte zur Folge (Scoville und Milner, 1957; Milner et al., 1968). So war H.M. nicht mehr in der Lage, seit dem Eingriff neuerworbene Erinnerungen langfristig zu speichern. Im Gegensatz dazu war das Leistungsvermögen seines prozeduralen Gedächtnisses relativ unbeeinträchtigt (Corkin, 1968; Gabrieli et al., 1990, 1993). Diese und weitere Verhaltensstudien belegten die Relevanz der hippocampalen Integrität und des Diencephalons für das deklarative Gedächtnis eindeutig (Zola-Morgan und Squire, 1985; Squire und Zola-Morgan, 1991; Alvarez et al., 1995; Rempel-Clower et al., 1996; Gold und Squire, 2006).

Demgegenüber arbeitet das non-deklarative Gedächtnis weitgehend hippocampus-unabhängig und involviert je nach beteiligtem Subsystem unterschiedliche, überwiegend subkortikale Regionen (Zola-Morgan und Squire, 1984; Haist et al., 1991; Poldrack und Gabrieli, 1997). Prozedurales Lernen bezieht sich vor allem auf die Basalganglien, das Cerebellum und den primären motorischen Cortex (Saint-Cyr et al., 1988; Knowlton et al., 1996; Poldrack et al. 1999; Ungerleider et al., 2002). Klassische Konditionierung wird mit dem Cerebellum und assoziierten Hirnstammbahnen in Verbindung gebracht (Knowlton und Thompson, 1992). Das Phänomen des Priming ist wohl mit aufgaben-spezifischen

neocorticalen Strukturen assoziiert (Buckner et al., 1995; Schacter et al., 1996). Beteiligt an der Verarbeitung emotional besetzter Lerninhalte sind die Amygdala (Morris et al., 1998).

2.1.3 Prozesse der Gedächtnisbildung

Die Gedächtnisfunktion umfasst im Wesentlichen drei Prozesse: Die Informationsaufnahme (Enkodierung), die Informationsverarbeitung (Speicherung und Konsolidierung) und die Informationsabfrage (Erinnerung). Der Prozess der Enkodierung beschreibt die Bildung neuronaler Erinnerungsspuren (Engramme), in welchen neu erlernte Gedächtnisinhalte festgehalten werden. Diese neu entstandenen neuronalen Repräsentationen sind aber noch höchst instabil und entsprechend empfindlich gegenüber interferierenden Reizen und Vergessen. Daher werden sie in der folgenden Konsolidierungsphase gefestigt: Konsolidierung ist ein aktiver Prozess, der die initial fragilen Erinnerungsspuren stabilisiert und verstärkt, wodurch sie im Laufe der Zeit weniger anfällig gegenüber Störfaktoren werden (Müller und Pilzecker, 1900; McGaugh, 2000). Außerdem findet eine Verbesserung des Gelernten ohne weitere Übung statt, die sich als Lernzuwachs manifestiert. Diese Leistungsverbesserung scheint in Bezug auf prozedurale Inhalte ein überwiegend schlafassoziiertes Vorgang zu sein, während die Festigungsprozesse wohl vorwiegend im Wachzustand stattfinden (Walker et al., 2003a). Im Rahmen der Konsolidierung kommt es auch zu einer Einordnung und Verknüpfung der neuen Engramme in bereits existierende neuronale Netzwerke. Die konsolidierten Gedächtnisinhalte können dann als Erinnerung dauerhaft wieder abgerufen werden.

2.1.4 Mechanismen der Gedächtniskonsolidierung

Die Konsolidierung ist essentieller Bestandteil der Gedächtnisfunktion. Da die Gedächtniskonsolidierung und die sie beeinflussenden Faktoren Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind, werden die ihr zugrunde liegenden Mechanismen im folgenden näher dargestellt. Erstmals prägten Müller und Pilzecker (1900) den Begriff der Konsolidierung in Bezug auf die Gedächtnisbildung: Sie stellten sich neu entstandene Erinnerungen als noch instabil vor, die auf einen mit der Zeit vor sich gehenden Prozess der Festigung (Konsolidierung) angewiesen seien. Nach derzeitiger Vorstellung läuft der Vorgang der Gedächtniskonsolidierung auf zwei unterschiedlichen Ebenen ab: Einerseits als schneller Prozess der synaptischen Konsolidierung und andererseits als langsame systemische Konsolidierung (Dudai, 2004; Frankland und Bontempi, 2005).

Die synaptische Gedächtniskonsolidierung findet innerhalb von Minuten bis Stunden statt. Als grundlegender Mechanismus wird hierbei das Phänomen der hippocampalen Langzeitpotenzierung (long-term potentiation: LTP) synaptischer Einheiten angesehen (Bliss und Lomo, 1973; Bliss und Collingridge, 1993). LTP werden induziert durch repetitive hochfrequente Stimulation präsynaptischer Neuronen. Diese Stimulation setzt eine biochemische Signalkaskade in Gang, die überwiegend im postsynaptischen Neuron abläuft (Sweatt, 1999). Herausragender Effekt ist eine langfristige Verstärkung (Potenzierung) der prä- und postsynaptischen Verbindung und damit ihrer synaptischen Übertragungsfähigkeit. Diese drückt sich darin aus, dass postsynaptische Neuronen mit überdurchschnittlich gesteigerten exzitatorischen postsynaptischen Potentialen auf Einzelreize reagieren. Die durch assoziative Langzeitpotenzierungen verursachten synaptischen Strukturveränderungen sind Ausdruck lern-assoziierter neuronaler Plastizität und für alle Gedächtnissysteme nachweisbar (Morris et al., 2003; Cooke und Bliss, 2006).

Demgegenüber steht die systemische Gedächtniskonsolidierung, welche bedeutend langsamer vor sich geht und erst nach Wochen bis Monaten vollständig abgeschlossen ist. Nach dem Standardmodell der systemischen Konsolidierung werden neue Informationen (deklarativen Charakters) vorwiegend in hippocampalen Neuronengruppen enkodiert (Squire und Alvarez, 1995; Eichenbaum, 2000). Der Hippocampus ist zunächst für den Abruf der neuen Inhalte verantwortlich, dient allerdings nur als rasch aufnehmender, aber zeitlich und räumlich begrenzter Zwischenspeicher neuer Informationen (Squire und Alvarez, 1995). Im Anschluss daran vermittelt der Hippocampus den allmählichen Transfer der Inhalte an den definitiven Speicherort, den Neocortex. Dazu werden neuronale Zellensembles, die schon beim Lernen involviert waren, nochmals aktiviert, was wiederum einen koordinierten Dialog hippocampal-neocorticaler Netzwerke in Gang setzt (Buzsáki, 1996; Hasselmo, 1999). Diese definierte Interaktion führt letztendlich zur Umstrukturierung und Verstärkung intracorticaler Verbindungen, also einer Reorganisation der an der Gedächtnisfunktion beteiligten Hirnregionen (Marr, 1971; Dudai, 2004). Neu erworbene Gedächtnisinhalte verlieren auf diese Weise sukzessive ihre hippocampale Abhängigkeit und liegen schließlich als mit präexistierenden Informationen verknüpfte, im Neocortex gespeicherte Langzeiterinnerungen vor (McClelland et al., 1995). In diesem Zusammenhang wurden vorwiegend die bekanntermaßen hippocampus-abhängigen, deklarativen Gedächtnisinhalte untersucht. Ähnliche Mechanismen scheinen allerdings auch für das überwiegend hippocampus-unabhängige non-deklarative Gedächtnis zu

existieren (Shadmehr und Holcomb, 1997).

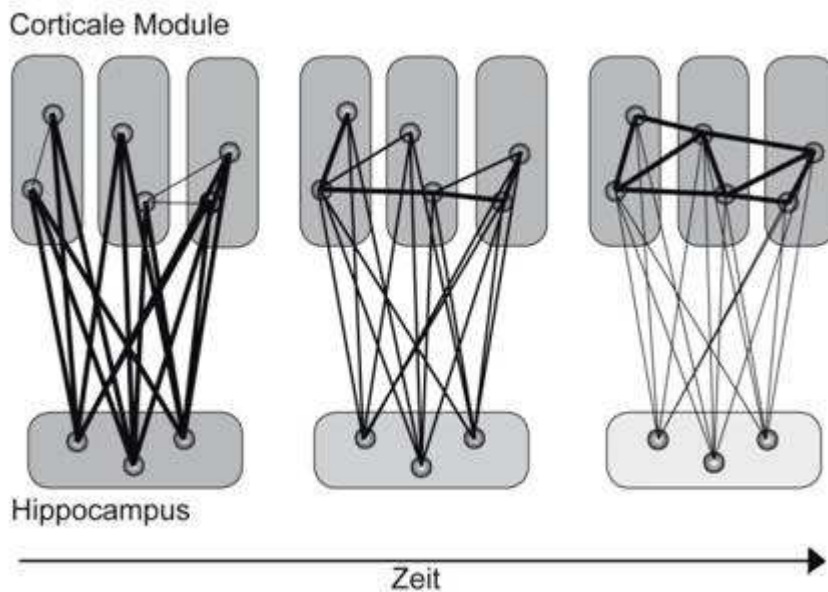


Abbildung 2. Schematische Darstellung des hippocampo-neocorticalen Modells der systemischen Gedächtniskonsolidierung (modifiziert nach Frankland und Bontempi, 2005).

Erste Belege für die zeit-abhängige Involvierung des Hippocampus in der Speicherung deklarativer Langzeiterinnerungen erbrachte die Examination des bereits erwähnten Patienten H.M. (Scoville und Milner, 1957). Nach operativer Entfernung beider Hippocampi (bzw. MTL) litt H.M. an einer retrograden Amnesie in Bezug auf persönliche Erlebnisse, die in den letzten Jahren vor der Operation passiert waren, nicht aber für weiter zurückliegende Ereignisse seines Lebens (Sagar et al., 1985). Diese und andere Studien unterstreichen die zeitlich limitierte Bedeutung der hippocampalen Integrität für neu entstandene, nicht aber für ältere deklarative Erinnerungen (Zola-Morgan und Squire, 1990; Reed und Squire, 1998; Remondes und Schuman, 2004).

2.1.5 Einfluss von Intention auf die Gedächtnisbildung

Die Speicherung und Konsolidierung von Gedächtnisinhalten ist durch eine Reihe von Faktoren wie etwa Intention, Motivation oder Emotion beeinflussbar (Bolte et al., 2003). Intention ist definiert als Absicht eines Individuums, eine bestimmte Handlung in Zukunft auszuführen (z.B. Wenn ich morgen meine Freundin sehe, muss ich daran denken, ihr zum Geburtstag zu gratulieren.). Goschke und Kuhl (1993) wiesen in mehreren Experimenten nach, dass intentionale Gedächtnisinhalte, also solche, die mit einer später zu realisierenden Aktion verknüpft waren, im Vergleich zu nicht-intentionalen Inhalten

deutlich besser erinnert werden. In einem Versuch sollten sich Probanden zwei Texte, in denen alltägliche Handlungen beschrieben werden (z.B. einen unordentlichen Tisch aufräumen oder den Tisch für das Abendessen decken), durchlesen und merken. Alle Teilnehmer wussten, dass später ihr Gedächtnis für Wörter beider Beschreibungen abgefragt werden wird. Ein Teil der Versuchspersonen wurde dann instruiert, dass er eine dieser Handlungen später selbst ausführen sollte. Diese Instruktion führte zur Bildung einer intentionalen – da mit einer in Zukunft selbst zu realisierenden Aktion verknüpften – Gedächtnisspur. Der andere Teil erfuhr hingegen, dass er später lediglich eine andere Person bei der Verrichtung einer der Tätigkeiten beobachten und dabei auf mögliche Abweichungen von der Handlungsanweisung achten sollte. Diese rein observierende Ausrichtung der Aufgabenstellung beinhaltet keine Intention, sondern hatte die Formation einer neutralen (nicht-intentionalen) Gedächtnisspur zur Folge. Im Anschluss an die Instruktionen wurden den Probanden Wörter auf einem Computerbildschirm präsentiert, welche so schnell und genau wie möglich als einem der beiden Skripte zugehörig oder als unbekannt eingeordnet werden sollten. Für die Wiedererkennung intentions-assoziiierter Wörter ergab sich eine deutlich niedrigere Latenzzeit als für die neutraler Wörter. Goschke und Kuhl führten dieses Ergebnis auf ein erhöhtes, persistierendes Aktivierungslevel intentionaler Repräsentationen gegenüber nicht-intentionalen zurück. Dieses Phänomen nannten sie den Absichts-Überlegenheits-Effekt ('intention-superiority effect'), der auf der verstärkten Aktivierung intentions-assoziiierter Gedächtnisspuren im Vergleich zu neutralen Inhalten beruht, wodurch intentionale Inhalte bevorzugt erinnert werden können (Goschke und Kuhl, 1993).

2.2 Schlaf

Der menschliche Schlaf ist ein komplexes Phänomen, dessen zugrundeliegende Prozesse und Funktionen über lange Zeit unverstanden gewesen sind. Wesentlich für die Schlafforschung war die Entwicklung des Elektroencephalogramms (EEG) durch Berger 1924, womit erstmals die elektrische Aktivität des menschlichen Gehirns dargestellt werden konnte (Berger, 1929). Loomis beobachtete, dass sich diese Aktivität während des Schlafs aus Phasen charakteristischer Wellenmuster zusammensetzt. Die Erkenntnis, dass Veränderungen in Amplitude und Frequenz der EEG-Wellen bestimmte Grade der Schlaftiefe widerspiegeln, veranlasste Loomis zur ersten Einteilung des Schlafs in fünf Stadien (Loomis et al., 1937). Mit der Entdeckung des Rapid Eye Movement-Schlafs (REM-Schlaf), einer weiteren Schlafphase, vervollständigten Aserinsky und Kleitman das

Verständnis der Vorgänge während des Schlafs (Aserinsky und Kleitman, 1953). Rechtschaffen und Kales vereinheitlichten die Klassifikation der Schlafstadien 1968, indem sie Kriterien erarbeiteten, die heutzutage standardmäßig angewendet werden (Rechtschaffen und Kales, 1968).

2.2.1 Schlafstadien

Anhand dieser Richtlinien werden spezifische Aktivitätsmuster des EEG, des Elektromyogramms (EMG) und des Elektrooculogramms (EOG) ausgewertet und aktuell fünf Schlafstadien unterschieden: der REM-Schlaf und die Schlafstadien 1 bis 4 (S 1–4) des non-REM-Schlafs (NREM-Schlaf), die durch eine zunehmende Schlaftiefe gekennzeichnet sind. Schlafstadium 1 bezeichnet demnach die Phase des Einschlafens und geht über in den Leichtschlaf des Stadiums 2, in welchem sich die Wellen des EEG verlangsamen und typischerweise Schlafspindeln und K-Komplexe auftreten. Diesem schließen sich die Tiefschlafphasen, Schlafstadium 3 und 4, an. Aufgrund der dort vorherrschenden langsamen Delta-Wellen werden sie auch slow wave sleep (SWS) oder Deltaschlaf genannt (Steriade et al., 1993). Charakteristisch für den REM-Schlaf sind schnelle Augenbewegungen bei gleichzeitig niedrigem Muskeltonus und eine desynchrone, hochfrequente und niedrigamplitudige EEG-Aktivität. Da diese an die Aktivität im Wachzustand erinnert, verwendet man dafür auch die Bezeichnung des paradoxen Schlafs (Jouvet et al., 1959).

2.2.2 Schlafzyklus

Im Laufe einer Nacht wechseln sich NREM- und REM-Schlafphasen beim Menschen innerhalb sogenannter Schlafzyklen ab (Dement und Kleitman, 1957). Diese Zyklen dauern etwa 90 Minuten und folgen in einer Nacht durchschnittlich fünfmal aufeinander. Grundsätzlich werden darin zuerst die NREM-Stadien 1–4 durchlaufen und dann in umgekehrter Reihenfolge bis zu Schlafstadium 2 wiederholt. Eine REM-Episode bildet den Abschluss. Allerdings verändert sich die NREM-REM-Verteilung mit der Zeit: In der ersten Nachthälfte überwiegt der SWS-Schlaf, während in der zweiten Nachthälfte die Länge der REM-Phasen zunimmt, Schlafstadium 2 häufig auftritt und selten Tiefschlaf erreicht wird.

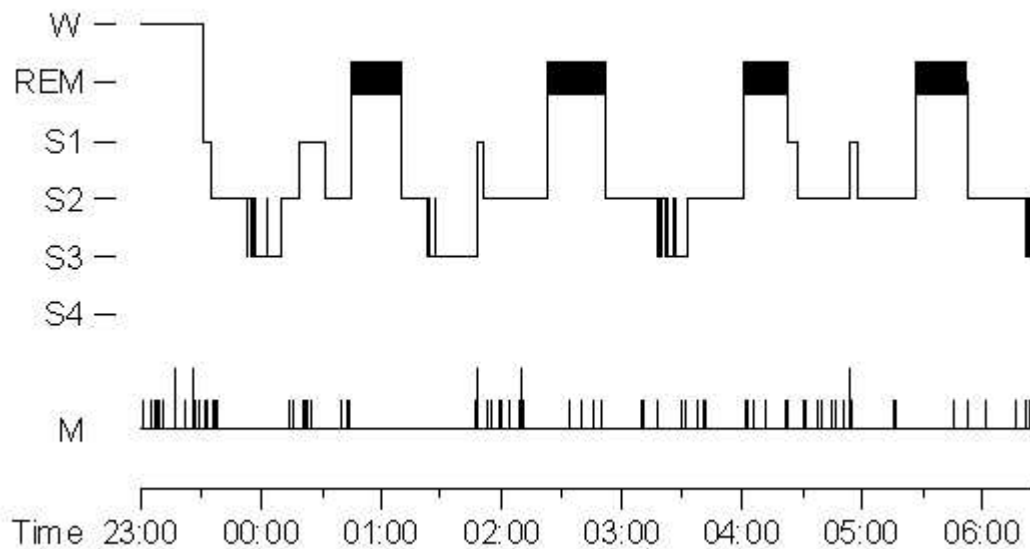


Abbildung 3. Hypnogramm (Schlafprofil eines Studienteilnehmers).

2.2.3 Funktionen des Schlafs

Die Funktion des Schlafs war lange Zeit ungeklärt. In den letzten Jahren wurden unterschiedlichste Aufgaben wie Thermoregulation (Horne, 1985; McGinty und Szymusiak, 1990), Energieeinsparung (Berger und Phillips, 1995; Siegel, 2005) sowie Entgiftung (Inoué et al., 1995) und Wiederherstellung neuronaler Strukturen (Siegel, 2005) festgestellt. Hervorzuheben ist an dieser Stelle der Vorgang der schlafassoziierten Gedächtniskonsolidierung (z.B. Peigneux et al., 2001; Smith, 2001; Maquet, 2001), dessen Mechanismen im folgenden Abschnitt näher dargestellt werden.

2.3 Schlafassoziierte Gedächtniskonsolidierung

Erste experimentelle Hinweise auf die gedächtnisfördernde Wirkung des Schlafs lieferten Jenkins und Dallenbach 1924: Sie ließen Probanden sinnlose Silben lernen. Anschließend sollten sie für einen Zeitraum von 1, 2 bzw. 4 Stunden schlafen oder wach bleiben. Nach diesem Intervall wurden die gelernten Silben erneut abgefragt, wobei die Schlafprobanden deutlich mehr als die Wachprobanden erinnerten. Zudem verbesserte sich die Behaltensleistung um so mehr, je länger die Schlafzeit gewesen war. Diesen Effekt erklärten die Forscher dadurch, dass im Schlaf weniger neue Informationen aufgenommen würden, welche mit bereits gelernten Daten interferieren und zu deren Vergessen beitragen könnten.

In den letzten Jahrzehnten bestätigte eine Vielzahl von neurokognitiven Studien den positiven Einfluss von Schlaf auf Gedächtnisprozesse. Generell erlernten die Probanden

dabei zuerst eine neue Aufgabe, verbrachten das folgende Behaltensintervall entweder schlafend oder wach und wurden anschließend hinsichtlich ihrer Lernleistung verglichen. Anfänglich wandte man ausschließlich Aufgaben deklarativen Charakters an (z.B. Lernen sinnloser Silben oder assoziierter Wortpaare). Die Mehrzahl der Studien wiesen eine fördernde Wirkung des Schlafs auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung nach (Van Ormer, 1933; Lovatt und Warr, 1968; Idzikowski, 1984; Nesca und Koulack, 1994). Für vereinzelte widersprüchliche Ergebnisse machte man den Einfluss von Art, Schwierigkeitsgrad und emotionaler Konnotation der verwendeten Aufgabe auf die schlafabhängige Prozessierung verantwortlich (Empson und Clarke, 1970; Tilley und Empson, 1978; Wagner et al., 2001). Heutzutage gilt die Bedeutung der schlafassoziierten Konsolidierung für deklarative Gedächtnisinhalte als allgemein anerkannt (Walker und Stickgold, 2004; Born et al., 2006).

In den letzten Jahren wurde auch für prozedurale Gedächtnisinhalte die Rolle der schlafabhängigen Konsolidierung umfassend untersucht. Diese konnte ebenfalls als wesentlicher Bestandteil der prozeduralen Gedächtnisbildung nachgewiesen werden. Demnach profitiert das prozedurale Gedächtnis etwa in Form sensorischer (Karni et al., 1994; Stickgold et al., 2000a; Gais et al., 2000; Fenn et al., 2003; Atienza et al., 2004; Gaab et al., 2004) oder motorischer Fertigkeiten (Fischer et al., 2002, 2005; Walker et al., 2002, 2003a,b; Korman et al., 2003; Kuriyama et al., 2004) von Konsolidierungsvorgängen im Schlaf. Durch das Erlernen einer prozeduralen Leistung werden einerseits Prozesse in Gang gesetzt, die zu einer Stabilisierung der Gedächtnisspur gegenüber Vergessen führen, und andererseits finden Prozesse statt, die ohne weitere aktive Wiederholung eine Leistungssteigerung zur Folge haben. Für Teilbereiche des prozeduralen Lernens konnten schlafabhängige Prozesse als essenzielle Bedingung dieses Leistungszuwachses identifiziert werden (Gais et al., 2000; Stickgold et al., 2000b).

2.3.1 Einfluss spezifischer Schlafstadien auf die Gedächtniskonsolidierung

Sowohl Schlaf (NREM und REM) als auch Gedächtnis (deklarativ und prozedural) sind uneinheitliche Systeme hoher Komplexität. Daher liegt die Vermutung nahe, dass nicht der Schlaf an sich das Gedächtnis fördert, sondern dass vielmehr einzelne Schlafstadien auf bestimmte Gedächtnissubsysteme Einfluss ausüben. Lange bevor die begünstigende Wirkung von Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung empirisch belegt worden war, wurde dem traumreichen REM-Schlaf eine Rolle in kognitiven Verarbeitungsprozessen

zugesprochen. Überprüft wurde diese Hypothese zunächst mittels selektiver REM-Schlafdeprivation, welche aus wiederholtem Wecken bei Auftreten von REM-Schlaf zur Minimierung dieses Schlafstadiums besteht. Die auf diese Weise gewonnenen Ergebnisse waren allerdings widersprüchlich. Zudem wurde die Methode der selektiven Schlafdeprivation wegen der erheblichen Nebenwirkungen wie gesteigerter Stressreaktion, gestörter Emotionalität sowie geminderter Wachheit und Aufmerksamkeit kritisiert (Horne und McGrath, 1984). Einige Forscher sahen diese Effekte als ausschlaggebend für die reduzierte Gedächtnisleistung an und bezweifelten daher generell die These der Gedächtnisförderung durch Schlaf (Vertes und Eastman, 2000; Horne, 2000; Siegel, 2001). Diese Einwände konnte Ekstrand durch die Etablierung einer weniger invasiven Methode – der partiellen Schlafdeprivation – beseitigen (Yaroush et al., 1971; Barrett und Ekstrand, 1972; Fowler et al., 1973; Ekstrand et al., 1977). Sie beruht auf der Tatsache, dass einerseits SWS-Schlaf in der ersten Nachthälfte und andererseits REM-Schlaf in der zweiten Nachthälfte vorherrscht. Suppression einer der Nachthälften ist demnach geeignet, die Bedeutung des sie dominierenden Schlafstadiums einzuschätzen und gleichzeitig eine ungestörtere Nachtruhe zu gewährleisten. Auf diesem Modell basierende Studien stellten fest, dass deklarative Gedächtnisinhalte vornehmlich von SWS-reichem Retentionsschlaf profitieren (Yaroush et al., 1971; Barrett und Ekstrand, 1972; Fowler et al., 1973; Ekstrand et al., 1977; Plihal und Born, 1997, 1999a). Demgegenüber wurde eine Förderung non-deklarativer Gedächtnisbildung durch überwiegend REM-reichen Schlaf nachgewiesen (Smith, 1995; Plihal und Born, 1997, 1999a). Karni und Mitarbeiter bestätigten diesen Effekt anhand von selektiver REM-Deprivation (Karni et al., 1994). In der Konsolidierung prozeduraler Informationen scheint auch das Schlafstadium 2 von Bedeutung zu sein (Smith und MacNeill, 1994; Walker et al., 2002). Trotz dieser reproduzierbaren Fakten wurden einige abweichende Beobachtungen gemacht: So scheint beispielsweise für streng episodische Gedächtnisbildung vorrangig REM-reicher Schlaf wichtig zu sein (Rauchs et al., 2004). Bestimmte prozedurale (sensorisch-perzeptuelle) Gedächtnisprozesse werden dagegen durch SWS-reichen Schlaf begünstigt (Gais et al., 2000). Besonders das non-deklarative Gedächtnissystem ist wohl durch die Vielzahl der beteiligten neuroanatomischen Regionen von verschiedenen Schlafstadien abhängig (Rauchs et al., 2005).

Anhand dieser Ergebnisse wurden zwei Theorien zum Einfluss von Schlafstadien auf die Gedächtniskonsolidierung aufgestellt: Die duale Prozesstheorie geht (aufgrund der oben genannten Ergebnisse) davon aus, dass jedes Schlafstadium (REM und NREM) in erster

Linie ein bestimmtes Gedächtnissystem unterstützt (Plihal und Born, 1997; Smith 1995, 2001; Dotto, 1996). So profitiert das deklarative Gedächtnis besonders von SWS-dominiertem Schlaf, das non-deklarative Gedächtnis überwiegend von REM-reichem Schlaf.

Nach der sequentiellen Hypothese hingegen, ist die spezifische Abfolge der Schlafstadien (REM auf NREM) für die Konsolidierung deklarativer und auch prozeduraler Inhalte wesentlich (Giuditta et al., 1995; Ambrosini und Giuditta, 2001).

Weitgehend anerkannt ist, dass alle Schlafstadien (ausgenommen Stadium 1) an der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten beteiligt sind. Allerdings bleibt die Frage noch unzureichend geklärt, ob Schlafstadien spezifisch auf ein Gedächtnissystem wirken oder ob die Aufeinanderfolge der Schlafstadien das entscheidende Element in der Gedächtniskonsolidierung ist.

2.3.2 Neuronale Reaktivierung –

Mechanismus der schlafassoziierten Gedächtniskonsolidierung

Als Mechanismus der schlafabhängigen Gedächtniskonsolidierung nimmt man derzeit die unterschwellige Reaktivierung neuronaler Ensembles, welche bereits im Lernen aktiviert waren, an (Buzsáki, 1998; Sutherland und McNaughton, 2000). Evidenz für diese Theorie lieferten Versuche an Ratten, deren elektrische Aktivitätsmuster in Lern- und folgender Schlafphase kontinuierlich intracerebral abgeleitet wurden. Dabei ließ sich feststellen, dass in der Lernphase (während der Erkundung unbekanntes Raums) hippocampale 'place cells' (Zellen, welche die räumliche Position des Tieres in seiner Umgebung kodieren) in charakteristischen Mustern aktiv waren. Dieses spezifische, zeitlich-räumlich definierte Erregungsbild wurde im darauffolgenden Schlaf reaktiviert (Pavlides und Winson, 1989; Wilson und McNaughton, 1994). Bemerkenswerterweise wurden koordinierte Reaktivierungen nicht nur im Hippocampus, sondern auch in assoziierten neocorticalen Regionen festgestellt (Qin et al., 1997). Diese Beobachtung unterstützt die These der Gedächtniskonsolidierung, nach der neu encodierte Inhalte im Schlaf durch einen hippocampo-neocorticalen Dialog gefestigt und letztendlich in den Neocortex verlagert werden (Buzsáki, 1996; 1998). Dabei werden die gerade wahrgenommenen Informationen im Wachzustand von sensorischen corticalen Arealen an den Hippocampus geleitet, der als schneller Zwischenspeicher operiert. Im darauffolgenden Tiefschlaf werden diese neuronalen Repräsentationen zunächst in Hippocampus und dann im Neocortex reaktiviert, was dort synaptische Veränderungen nach sich zieht und so letztendlich eine sukzessive

Verlagerung und Langzeitspeicherung der Daten im Neocortex initiiert. Damit übereinstimmend registrierte die überwiegende Anzahl der Studien neuronale Reaktivierungen im SWS-Schlaf (Wilson und McNaughton, 1994; Skaggs und McNaughton, 1996; Shen et al., 1998; Nadasdy et al., 1999; Lee und Wilson, 2002). Allerdings gibt es auch Beispiele für Reaktivierungen im REM-Schlaf, was die Ansicht unterstützt, dass Theta-Wellen während des REM-Schlafs über LTP-Induktion lernassoziierte synaptische Plastizität vermitteln (Poe et al., 2000; Louie und Wilson, 2001). Auch bei Menschen hat man mittels bildgebender Verfahren wie der Positronenemissionstomographie oder der funktionellen Magnetresonanztomographie Reaktivierungen spezifischer Hirnareale im auf das Lernen folgenden Schlaf belegen können: Bei Probanden, die eine prozedurale Aufgabe erlernt hatten, wurden im folgenden REM-Schlaf Erregungsmuster der Hirnareale, die in der Lernphase aufgetreten waren, stärker aktiviert als bei Probanden, die nicht gelernt hatten (Maquet et al., 2000; Peigneux et al., 2003). In anderen Studien, die deklarative Gedächtnisinhalte untersuchten, wurden Reaktivierungen zuvor involvierter Areale im SWS-Schlaf nachgewiesen (Peigneux et al., 2004; Mölle et al., 2004; Rasch et al., 2007). Regionale Veränderungen der Hirnaktivität beim späteren Abruf werden als Ausdruck lernabhängiger Konsolidierungsprozesse im Schlaf angesehen (Maquet et al., 2003; Gais et al., 2007). Basierend auf den bisherigen Ergebnissen wurde eine unterschiedliche Beteiligung der Schlafstadien REM und NREM an Konsolidierungsprozessen postuliert (Ribeiro et al., 2004).

2.3.3 Einflussfaktoren der schlafassoziierten Gedächtniskonsolidierung

Schlaf begünstigt die Gedächtniskonsolidierung neu erworbener Informationen nicht in jedem Fall in gleichem Maße, vielmehr beeinflussen diesen positiven Effekt des Schlafs eine Vielzahl von Faktoren – etwa Emotion, Aufmerksamkeit, Motivation oder Intention. Beispielsweise hat der Charakter des Lernmaterials Auswirkungen auf die Tiefe der Gedächtnisbildung: Emotional konnotierte Inhalte werden gewöhnlich besser erinnert als neutrale Inhalte (Cahill und McGaugh, 1995; Wagner et al., 2001; Hu et al., 2006). Auch die Art und Weise, auf die jemand Gedächtnisinhalte erlernt – bewusst (explizit) oder unbewusst (implizit) – scheint Auswirkungen auf die schlafabhängige Konsolidierung zu haben: Neueren Studien zufolge profitieren explizit erlangte Informationen in größerem Ausmaß von schlafassoziierten Prozessen als implizite (Robertson et al., 2004; Spencer et al., 2006). Weiterhin moduliert der Grad der Motivation der Versuchsperson die Gedächtnisbildung. Fischer und Kollegen zeigten, dass eine hohe Motivation der Versuchsteilnehmer – erzeugt durch versprochene finanzielle Belohnung – eine gesteigerte

Gedächtnisleistung zur Folge hat (Fischer und Born, 2009). Die Probanden lernten zunächst zwei verschiedene Versionen einer motorischen Aufgabe, die darin besteht, so schnell und genau wie möglich eine vorgegebene Zahlenfolge auf einer Computertastatur einzugeben (Fingertapping). Dann wurden sie informiert, dass sie mehr Geld ausgezahlt bekämen, wenn sie eine der beiden Sequenzen (je nach Bedingung) bestmöglich ausführen würden. Einige Versuchspersonen verbrachten das folgende Retentionsintervall von 12 Stunden schlafend, die anderen blieben währenddessen wach. Beim Wiederabruf waren die Schlaf- den Wachprobanden eindeutig überlegen. Bemerkenswerterweise steigerten nur die Schlafprobanden ihre Leistung signifikant, und zwar allein in der Sequenz, die zuvor mit einer zusätzlichen Belohnung assoziiert wurde. Dies spricht für die Bedeutung der Motivation als Einflussfaktor auf die schlafabhängige Konsolidierung von Gedächtnisinhalten.

Neben diesen Faktoren konnte der positive Einfluss von Intention auf die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten im Wachzustand verdeutlicht werden, welcher wohl auf einem privilegiertem Aktivierungsniveau intentionaler Repräsentationen beruht (Goschke und Kuhl, 1993). Da anerkannte Modelle der Gedächtnisbildung von überwiegend schlafassoziierten Reaktivierungsvorgängen neuronaler Repräsentationen ausgehen, profitieren intentionale Inhalte vermutlich aufgrund des erhöhten Aktivierungsgrades besonders von schlafabhängiger Gedächtniskonsolidierung.

2.4 Fragestellung und Hypothesen

Eine positive Wirkung von Schlaf auf die Konsolidierung neu erlernter Gedächtnisinhalte hat eine Vielzahl von Studien überzeugend belegt (Peigneux et al., 2001; Maquet, 2001; Born et al., 2006).

Wie eben erwähnt, wurde ein förderlicher Effekt von Intentionen auf die Speicherung von deklarativen Gedächtnisinhalten während eines Wachintervalls gezeigt (Goschke und Kuhl, 1993). Mit Intentionen verknüpfte Informationen wurden gegenüber solchen ohne Intention deutlich besser erinnert. Dieses Ergebnis wurde als Folge eines erhöhten Aktivierungslevels der neuronalen Repräsentation intentionaler Inhalte interpretiert. Allerdings wurde dabei lediglich die verstärkende Wirkung von Intention auf die Gedächtniskonsolidierung im Wachzustand und nach einem sehr kurzen Retentionsintervall von Minuten nachgewiesen.

In der vorliegenden Studie untersuchten wir, ob das Wissen um die erneute Abfrage der gelernten Aufgabe am Morgen auch die schlafassoziierte Gedächtniskonsolidierung

beeinflusst. Ausgehend von der Theorie der neuronalen Reaktivierung als Mechanismus der Gedächtniskonsolidierung im Schlaf, könnte das erhöhte Aktivierungsniveau intentionaler Repräsentationen zu einer Steigerung schlafabhängiger Stabilisierungsprozesse und demzufolge verbesserter Gedächtnisleistung führen. Das Experiment behandelt demnach den Einfluss des Wissens um eine erneute Abfrage am folgenden Morgen auf die schlafbedingte Gedächtniskonsolidierung. Die vorliegende Arbeit hat die diesbezüglichen Ergebnisse für das prozedurale Gedächtnis zum Thema, während eine weitere Arbeit auf das deklarative Gedächtnis eingeht. Die Bildung einer Intention führten wir in unserem Experiment herbei, indem einigen Probanden abends mitgeteilt wurde, dass die soeben gelernte Aufgabe morgens noch einmal abgefragt werden würde. Als Kontrollgruppe dienten Probanden, denen die morgendliche Wiederholung der Tests nicht bekannt gegeben worden war. Jeweils ein Teil der Gruppe 'mit Intention' sowie der Gruppe 'ohne Intention' verbrachten das Retentionsintervall schlafend, der andere Teil beider Instruktionsgruppen verbrachte es im Wachzustand.

Die bisher erörterten Erkenntnisse dienten dieser Studie als theoretische Grundlage. Darauf aufbauend erfolgte die Prüfung folgender Hypothesen:

Hypothese 1. Schlaf fördert die Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte. Daher ist anzunehmen, dass die Probanden, welche das achtstündige Retentionsintervall schlafend verbracht hatten, eine deutlich bessere Leistung in der Fingertapping-Aufgabe zeigen als jene Probanden, welche diese Zeit über wach geblieben waren.

Hypothese 2. Schlaf fördert bevorzugt die Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte, welche mit einer Intention assoziiert sind. Demzufolge ist davon auszugehen, dass die Probanden der Gruppe 'Schlaf mit Intention' denen der Gruppe 'Schlaf ohne Intention' hinsichtlich ihrer Abrufleistung in der Fingertapping-Aufgabe deutlich überlegen sind.

Hypothese 3. Eine abends bestehende Vorahnung ('Antizipation') über eine erneute Abfrage der Aufgaben am Morgen trotz gegenteiliger Instruktion der Probanden ('ohne Intention') erzeugt eine der Instruktion 'mit Intention' vergleichbare Wirkung auf die schlafassoziierte Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte. Daher ist anzunehmen, dass die Abrufleistung in der Fingertapping-Aufgabe der Ausschlussgruppe 'Schlaf mit Antizipation' mit derjenigen der Experimentalgruppe 'Schlaf mit Intention' vergleichbar ist.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsteilnehmer

An der Studie nahmen 99 Versuchspersonen teil, davon 43 Männer und 56 Frauen, im Alter von 17 bis 33 Jahren (mittleres Alter $22,59 \pm 3,54$ Jahre). Die Probanden, vorwiegend Studenten, wurden über Aushänge in der Universität und der Stadt Lübeck rekrutiert. Sie durften bisher nicht an Studien zur Gedächtnisforschung des Instituts teilgenommen haben und sollten Deutsch als Muttersprache erlernt haben. Weitere Voraussetzung war ein regelmäßiger Tages- und Nachtrhythmus, weshalb sie in den letzten sechs Wochen nicht unter Schichtbedingungen gearbeitet haben sollten. Die Studienteilnehmer versicherten, weder akut noch chronisch an schweren psychischen und physischen Erkrankungen oder Schlafstörungen zu leiden, derzeit keine Medikamente einzunehmen und Nichtraucher zu sein. An den Versuchstagen durften die Probanden keine koffeinhaltigen Getränke oder Alkohol zu sich nehmen, sollten zwischen 6 und 8 Uhr morgens aufstehen und tagsüber nicht mehr schlafen.

Während des ersten telefonischen Kontaktes wurden die Probanden über Ablauf und Inhalt der Studie folgendermaßen informiert: In dem Experiment gehe es um zwei unterschiedliche Sachverhalte. Einerseits werde der Einfluss des Wissens um eine bevorstehende Schlaf- bzw. Wachnacht auf das Kurzzeitgedächtnis mithilfe von kognitiven Tests am Abend erforscht. Andererseits sollten die Auswirkungen von Schlaf bzw. Wachsein auf eine morgens durchzuführende Reaktionszeitaufgabe untersucht werden. Daher schlafe ein Teil der Probanden nachts acht Stunden lang, während der andere Teil diesen Zeitraum über wach bleibe. Allerdings erfuhren die Versuchsteilnehmer zu diesem Zeitpunkt nicht, ob sie schlafen oder wach bleiben würden, sondern wurden erst am Versuchsabend darüber informiert. Die Zuteilung der Probanden in Schlaf- bzw. Wachbedingung erfolgte durch die Versuchsleiter zufällig.

Alle Teilnehmer unterschrieben – nach Aufklärung über das Studiendesign – eine Einverständniserklärung und erhielten eine Aufwandsentschädigung (Schlafbedingung: 45 Euro für die Versuchs- und 30 Euro für die Eingewöhnungsnacht, Wachbedingung: 60 Euro für die Versuchsnacht).

3.2 Schlaflabor und Polysomnographie

Die Experimente fanden im Gebäude der Klinischen Forschergruppe Neuroendokrinologie der Universität zu Lübeck (Haus 23a) zwischen Juni 2006 und Februar 2007 statt. Insgesamt stehen dort vier schallisolierte und abgedunkelte Schlafräume für jeweils eine Versuchsperson zur Verfügung.

Die polysomnographische Aufzeichnung des Schlafs umfasste die Wiedergabe der elektrischen Hirnaktivität im Elektroencephalogramm, der Augenbewegungen im Elektrooculogramm sowie der Muskelaktivität im Elektromyogramm. Hierzu wurden insgesamt acht Elektroden appliziert. Die Registrierung des EEG erfolgte in unipolarer Ableitung über zwei auf der Kopfhaut des Probanden angebrachte Elektroden (Position 1 und 2 in Abbildung 4) zu einer sich lateral der Nasenwurzel befindenden Referenzelektrode (Position 6 in Abbildung 4). Entsprechend dem internationalen 10/20-System waren die EEG-Elektroden an den Positionen C3 und C4 lokalisiert (Jasper, 1958). Das EMG wurde durch zwei inferio-lateral der Mundwinkel gelegene Elektroden (EMG 1 und 2; Position 7 und 8 in Abbildung 4) wiedergegeben. Augenbewegungen nahmen eine temporal des rechten Auges liegende Elektrode sowie eine zweite inferior des linken Auges wahr (EOG 1 und 2). Als Erdung (Ground) diente eine Elektrode auf der Stirn (Position 5 in Abbildung 4). Um den Widerstand zwischen Haut und Elektrode möglichst gering zu halten, wurden die betreffenden Stellen mit Alkohol gereinigt und zusätzlich eine Leitpaste benutzt. Die Impedanz wurde zu Beginn der Aufzeichnungen geprüft und durfte einen Wert von 5 k Ω nicht überschreiten.

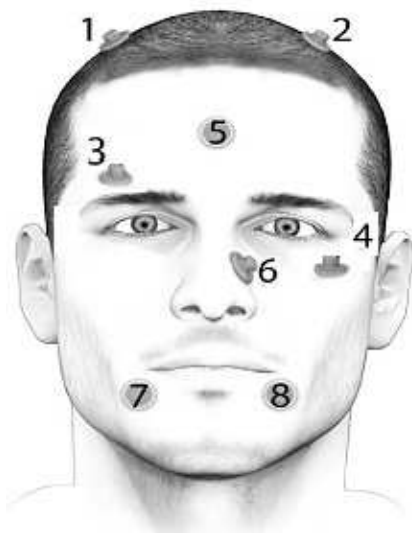


Abbildung 4. Anordnung der Elektroden für die Standardpolysomnographie.

Über einen Verstärker wurden die ermittelten polysomnographischen Daten zum Registriergerät weitergeleitet, welches sich im Nebenzimmer der Schlafräume befand. Digital erfolgte dort durch das Programm BrainVision Recorder (Brain Products GmbH) deren kontinuierliche Aufzeichnung und Speicherung. Die gewonnenen Daten wurden anhand der international gebräuchlichen Klassifikation nach Rechtschaffen und Kales (1968) mithilfe der Software SchlafAus v1.4 (Gais, unveröffentlicht) analysiert.

3.3 Versuchsablauf

In der Studie wurden vier Experimentalgruppen, welche aus jeweils 18–20 Probanden bestanden, gegenübergestellt und in einem between-subjects-design untersucht. Dabei unterschieden sich die Gruppen zum einen in der Art des Retentionsintervalls, das jeweils zwei Gruppen schlafend und zwei wach verbrachten (Faktor Bedingung: ‘Schlaf’ versus ‘Wach’). Zum anderen variierte zwischen den Gruppen die Instruktion, die sie bezüglich einer erneuten Abfrage der abends gelernten Gedächtnisaufgaben erhielten (Faktor Instruktion: ‘mit Intention’ versus ‘ohne Intention’). So wussten zwei Gruppen um die nochmalige Abfrage der Gedächtnistest am nächsten Morgen (Version A: Im folgenden als Gruppe ‘mit Intention’ bezeichnet), während die anderen beiden Gruppen diese Information nicht hatten (Version B: Im folgenden als Gruppe ‘ohne Intention’ bezeichnet).

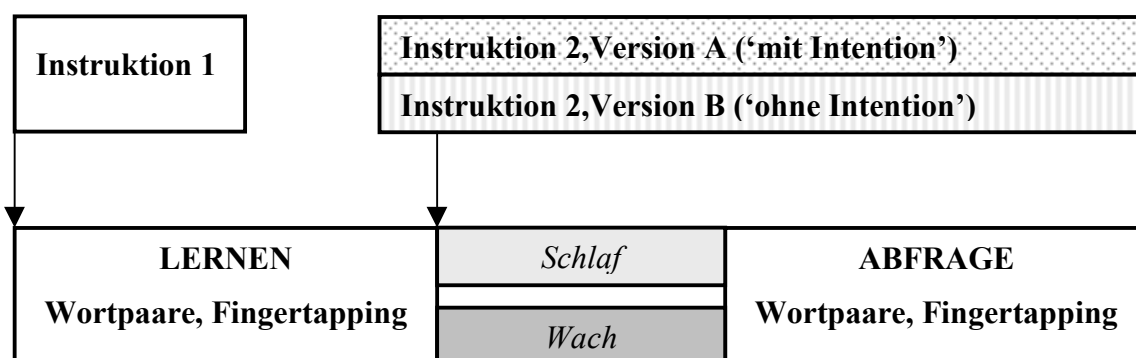


Abbildung 5. Schematischer Ablaufplan des Versuchs.

Die Schlafprobanden trafen um 20:30 Uhr im Schlaflabor ein. Sie hatten in den Tagen zuvor eine Eingewöhnungsnacht in einem der Versuchsräume verbracht, um sich mit den dortigen Schlafbedingungen vertraut zu machen. Damit die Schlafprobanden nicht vorzeitige Schlüsse auf eine Zuteilung in die Schlafbedingung ziehen konnten, wurde

ihnen erklärt, dass eine solche Eingewöhnungsnacht von allen Probanden zu absolvieren sei. Nachdem die Schlafprobanden Fragebögen zu allgemeinen und medizinischen Daten ausgefüllt hatten, wurden die Elektroden für die Standard-Polysomnographie appliziert. Gegen 21 Uhr erschienen die Wachprobanden im Institut. Auch sie beantworteten die genannten Fragebögen.

Anschließend – Wachprobanden gegen 21:30 Uhr und Schlafprobanden gegen 22:00 Uhr – wurden die Studienteilnehmer einzeln in einen reizarmen Raum gebracht. Vor Durchführung der kognitiven Tests schätzten sie ihre momentane Stimmungslage in einem Befindlichkeitsfragebogen und den Grad ihrer Schläfrigkeit in der Stanford-Schläfrigkeitsskala ein. Dem Lernvorgang ging ebenfalls eine erste Instruktion der Versuchspersonen voraus. Darin wurde allen Gruppen gleichermaßen erklärt, dass diese Studie aus zwei eigenständigen Experimenten bestehe: Zum einen untersuche man den Einfluss des Wissens um eine bevorstehende Schlaf- bzw. Wachnacht auf die Kurzzeitgedächtnisbildung. Zum anderen wolle man den Effekt von Schlaf bzw. Wachsein auf eine morgens durchzuführende Reaktionszeitaufgabe erforschen.

Anlage 2. Instruktion Teil 1.

Daraufhin lernten alle Probanden zuerst einen Wortpaar-Assoziationstest und dann eine Fingertapping-Aufgabe. Direkt im Anschluss an die Lernphase wurde den Versuchsteilnehmern eine zweite Instruktion – entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit Version A (‘mit Intention’) oder B (‘ohne Intention’) – mitgeteilt. Probanden der Gruppen ‘mit Intention’ erfuhren darin, dass auch der Einfluss auf das Langzeitgedächtnis geprüft werde und die soeben gelernten Inhalte morgens erneut abgefragt werden würden (Version A). Diese Information wurde Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ (Version B) vorenthalten. Allen Gruppen wurde die Reaktionszeitaufgabe erklärt, die am Morgen darauf stattfinden würde. Bei dieser Aufgabe würden wiederholt Wörter auf dem Computerbildschirm auftauchen, darunter Namen von Tieren und Kleidungsstücken. Sobald der Proband einen Tiernamen entdeckte, sollte er so schnell wie möglich die F1-Taste der Computertastatur drücken, bei einem Kleidungsstück die F8-Taste. Diese Anweisung sollten sich alle gut merken, da sie am nächsten Morgen nicht wiederholt werden würde.

Anlage 3. Instruktion Teil 2; Version A (‘mit Intention’) und B (‘ohne Intention’).

Danach spielten alle Testgruppen das Computerspiel Snood (WOM Games) für etwa 10 Minuten. Dies sollte der gedanklichen Zerstreuung dienen und eine explizite Auseinandersetzung mit dem Gelernten verhindern.

Die Elektrodenkabel der Schlafprobanden wurden hiernach in den Schlafräumen mit dem Verstärker verbunden und die EEG-Registrierung im Nebenraum eingeschaltet. Das Licht wurde um spätestens 23:00 Uhr gelöscht, um eine achtstündige Nachtruhe zu gewährleisten. Die Wachprobanden hielten sich von nun an gemeinsam in einem Raum des Instituts auf, in dem sie beispielsweise Filme ansehen und Gesellschaftsspiele spielen durften. Ausgeschlossen waren dabei emotional aufwühlende (z.B. Horrorfilme) oder kognitiv anspruchsvolle Aktivitäten (z.B. Lernen oder Lesen von Fach- oder Sachliteratur). Nach dem achtstündigen Schlafintervall wurden die Schlafprobanden um 7:00 Uhr geweckt. Gegen 7:15 Uhr begann die Testphase zunächst der Wachprobanden und später der Schlafprobanden. Nachdem die Versuchspersonen erneut Fragebögen zu aktueller Befindlichkeit sowie Müdigkeit ausgefüllt hatten, sollte die abends erläuterte Reaktionszeitaufgabe ausgeführt werden. Die Probanden wurden zuvor gefragt, ob sie sich an die Instruktion hierzu erinnerten. Wenn dies nicht der Fall war, wurde sie ihnen nochmals erläutert. Danach erfolgte die Abfrage der zwei am Abend zuvor gelernten Aufgaben in identischer Reihenfolge. Zuletzt füllten die Studienteilnehmer einen Abschlussfragebogen aus. Darin sollten sie angeben, ob sie sich vor der Nacht im Schlaflabor gedacht hatten, dass sie schlafen bzw. wach bleiben würden – und wenn ja wie sicher sie sich dessen gewesen waren. Alle Wachprobanden sollten zudem Auskunft darüber geben, ob und wie sehr sie während der Nacht über die gelernten Wortpaare nachgedacht bzw. wie oft sie ihnen spontan eingefallen waren. Außerdem sollten Versuchspersonen der Gruppen 'ohne Intention' beantworten, ob sie sich abends trotz gegenteiliger Instruktion gedacht hatten, dass die soeben gelernten Aufgaben morgens erneut abgefragt werden würden. Des Weiteren unterschrieben alle Versuchspersonen eine Verschwiegenheitserklärung, in der sie zusicherten, keine Details des Studiendesigns oder der gestellten Gedächtnisaufgaben an andere weiterzugeben.

Uhrzeit	Versuchsablauf
20:30	Ankunft der Schlafprobanden Probandendaten, Einverständniserklärung, Medizinischer Fragebogen Befestigung der Elektroden für die Polysomnographie
21:00	Ankunft der Wachprobanden Probandendaten, Einverständniserklärung, Medizinischer Fragebogen
21:30	Lernen der Wachprobanden Fragebogen zu Befindlichkeit und Schläfrigkeit Instruktion 1 Wortpaar-Aufgabe und Fingertapping-Aufgabe
	Direkt im Anschluß an das Lernen der Wachprobanden Instruktion 2 (Version A oder B) 10 min SNOOD spielen
22:00	Lernen der Schlafprobanden Fragebogen zu Befindlichkeit und Schläfrigkeit Instruktion 1 Wortpaar-Aufgabe und Fingertapping-Aufgabe
	Direkt im Anschluß an das Lernen der Schlafprobanden Instruktion 2 (Version A oder B) 10 min SNOOD spielen
23:00	Licht aus (8 Stunden Schlaf) bzw. Wachbleiben der Wachprobanden
07:00	Wecken der Schlafprobanden
07:15	Abfrage der Wachprobanden Fragebogen zu Befindlichkeit und Schläfrigkeit Wortpaar-Aufgabe und Fingertapping-Aufgabe
	Direkt im Anschluss an die Abfrage der Wachprobanden Abschlussfragebogen und Verschwiegenheitserklärung
07:45	Abfrage der Schlafprobanden Fragebogen zu Befindlichkeit und Schläfrigkeit Wortpaar-Aufgabe und Fingertapping-Aufgabe
	Direkt im Anschluss an die Abfrage der Schlafprobanden Abschlussfragebogen und Verschwiegenheitserklärung

Tabelle 1. Tabellarischer Ablaufplan des Versuchs.

3.4 Testverfahren

Die Studie insgesamt befasste sich sowohl mit dem deklarativen als auch mit dem prozeduralen Gedächtnis. Die das deklarative Gedächtnis betreffenden Ergebnisse sind Thema einer anderen Doktorarbeit. Daher wird im Folgenden ausschließlich auf die Aufgabe zur Untersuchung des prozeduralen Gedächtnisses eingegangen. Schließlich werden die angewandten Fragebögen zur Evaluation der Befindlichkeit und Schläfrigkeit sowie der Abschlussfragebogen kurz beschrieben.

3.4.1 Fingertapping-Aufgabe

Um die Leistung des prozeduralen Gedächtnisses zu überprüfen, wurde die bewährte Fingertapping-Aufgabe nach Walker eingesetzt (Walker et al., 2003). Dabei handelt es sich um ein neuropsychologisches Testverfahren, welches das Erlangen motorischer Fertigkeiten im Sinne von Reaktions- und Koordinationsfähigkeit beurteilt. Dies geschieht folgendermaßen: Der Proband befindet sich in einem reizarmen Raum und sitzt am Schreibtisch, auf dem Computerbildschirm und -tastatur stehen. Er wird angewiesen, eine permanent auf dem Bildschirm angezeigte fünfstellige Zahlenfolge mit den Finger seiner nicht-dominanten Hand immer wieder ‘so schnell und so genau wie möglich’ (Wortlaut der Instruktion) innerhalb eines 30-sekündigen Intervalls auf der Tastatur einzugeben. Währenddessen sollen die 4 Finger (Zeige- bis Kleiner Finger) auf den 4 vorgegebenen Tasten liegenbleiben. Auf das Testintervall folgt eine Pause von 30 Sekunden, in der auf dem Bildschirm die Ergebnisse des letzten Durchgangs angezeigt werden. Beispielhaft ist die Anzeige einer solchen Zahlenfolge auf einem Bildschirm in Abbildung 6 dargestellt: Das linke Bild zeigt die Ausgangssituation vor Eingabe von Zahlen auf der Tastatur, verdeutlicht durch die Leerzeichen unter den Zahlen. Im rechten Bild dagegen befindet sich der Proband mitten im Testintervall, die drei Sternchen unter den ersten Zahlen stehen für bereits eingegebene Zahlen auf der Computertastatur.

Ermittelt werden zwei Parameter: Zum einen wird die Anzahl der komplett vollendeten Zahlensequenzen (‘Geschwindigkeit’) gemessen, zum anderen wird die Anzahl der richtig eingegebenen Sequenzen (‘Genauigkeit’) bestimmt. Ein sogenannter Testblock besteht aus einem 30-sekündigen Testintervall sowie einem 30-sekündigen Pausenintervall. Insgesamt wurden in der Lernphase am Abend zwölf solcher Blöcke durchlaufen. Morgens in der Abfragesituation waren es vier Testblöcke. Zur statistischen Auswertung wurden die Ergebnisse der Blöcke 10-12 des abendlichen und der Blöcke 2-4 des morgendlichen Durchgangs miteinander verglichen.

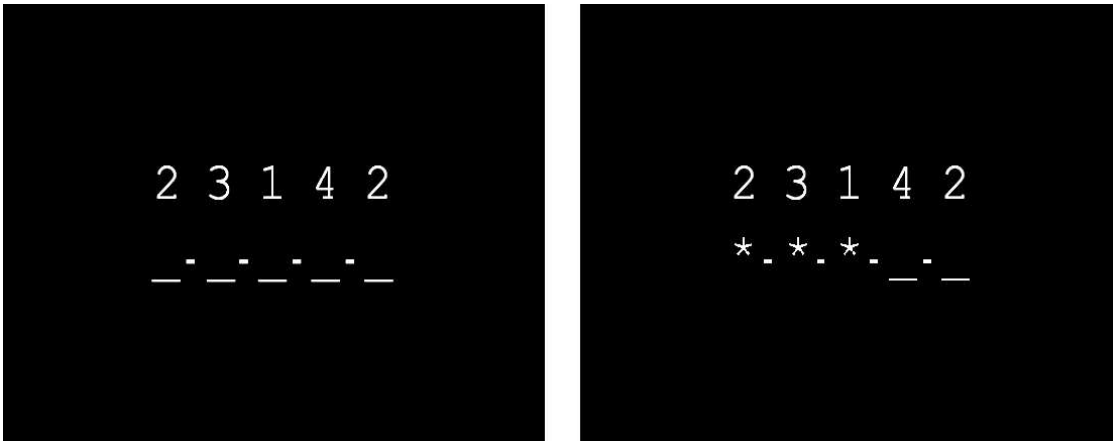


Abbildung 6. Fingertapping-Aufgabe.

3.4.2 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen

Alle Probanden füllten jeweils vor der Lernphase abends und dem Wiederabruf morgens einen mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) aus. Vorgelegt wurde ihnen die MDBF-Kurzform A (Steyer et al., 1994, 1997). Darin werden zwölf Adjektive präsentiert, die sich auf die momentane, subjektiv empfundene Stimmung beziehen. Anhand einer Punkteskala von 1 bis 5 (1 = trifft überhaupt nicht zu bzw. 5 = trifft sehr zu) sollte jedes Adjektiv bewertet werden, inwieweit es die gegenwärtige Gemütslage zutreffend wiedergibt. Die aufgeführten Adjektive lassen sich in drei Arten von Gefühlswahrnehmungen einteilen (Gute Stimmung – Schlechte Stimmung; Wachheit – Müdigkeit; Ruhe – Unruhe). Die vorgenommene Selbsteinschätzung wurde standardisiert ausgewertet.

Anlage 4. Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen-Kurzform A.

3.4.3 Stanford-Schläfrigkeitsskala

Im Anschluß an den MDBF schätzten die Probanden abends und morgens subjektiv den Grad ihrer Schläfrigkeit mittels der Stanford-Schläfrigkeitsskala ein (Hoddes et al., 1972, 1973). Aus sieben Aussagen wählten sie dabei die aktuell zutreffendste aus. Jeder Aussage ist dabei ein Wert auf der Punkteskala von 1 bis 7 bzw. X zugeordnet (1 = Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach bzw. 7 = Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen; habe traumähnliche Gedanken bzw. X = Proband schläft: Versuchsleiter muss das Kreuz setzen.). Auch diese Ergebnisse wurden mithilfe statistischer Verfahren analysiert.

Anlage 5. Stanford-Schläfrigkeitsskala.

3.4.4 Abschlussfragebogen

Nachdem alle Versuchsteilnehmer morgens erneut die kognitiven Tests absolviert hatten, erhielten sie zuletzt einen Abschlussfragebogen. Darin sollten die Probanden der Gruppen 'ohne Intention' – also diejenigen, die laut Instruktion nicht von einer erneuten Abfrage der Tests am Morgen wussten – angeben, ob sie sich nach dem Lernen der Tests am Abend trotz dieser Instruktion gedacht hatten, dass sie die Tests am nächsten Morgen noch einmal durchführen müssten (ja = 1 versus nein = 0). Falls sie die erneute Abfrage geahnt hatten, sollten sie weiterhin angeben, wie sicher sie sich dabei gewesen waren (sehr sicher = 3, relativ sicher = 2, eher unsicher = 1).

Außerdem wurden die Probanden der Wach- bzw. Schlafbedingungen befragt, ob sie sich vor der Nacht im Schlaflabor gedacht hatten, dass sie wach bleiben müssten bzw. schlafen könnten. Die Wachprobanden sollten darüber hinaus Auskunft darüber geben, ob sie während der Nacht über die gelernten Wortpaare nachgedacht hatten oder sie ihnen spontan eingefallen waren (häufig = 4, relativ häufig = 3, selten = 2, gar nicht = 1).

Anlage 6. Abschlussfragebogen.

3.5 Datenreduktion und statistische Auswertung

Die statistische Datenanalyse wurde mithilfe des Computerprogramms SPSS (Statistical Package for the Social Sciences; Version 15.0 für Windows) vorgenommen.

Um zu prüfen, inwiefern alle vier Experimentalgruppen beim abendlichen Lernen der Fingertapping-Aufgabe vergleichbar waren, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) ohne Messwiederholung mit den beiden Faktoren 'Bedingung' (Schlaf/Wach) und 'Instruktion' (mit Intention/ohne Intention) berechnet. Der Einfluss der beiden Faktoren auf die Konsolidierung wurde ebenfalls mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit den beiden Faktoren 'Bedingung' und 'Instruktion' analysiert. Abhängige Variable war zum einen die erreichte Leistung in der Fingertapping-Aufgabe und zum anderen die morgens gemessene Leistungsdifferenz zwischen Lern- und Abrufphase. Außerdem erfolgte der paarweise Vergleich der absoluten und relativen Leistungen in der Fingertapping-Aufgabe jeweils der beiden Schlaf- bzw. Wachgruppen mithilfe von t-Tests. Zusätzlich wurden mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse die Abrufleistungen in der Fingertapping-Aufgabe in den Gruppen 'mit Intention', 'ohne Intention' und 'Antizipation'

miteinander verglichen.

Die polysomnographischen Daten wurden mithilfe von t-Tests ausgewertet. Außerdem wurde durch Korrelationsanalysen nach Pearson untersucht, ob absolute und relative Anteile der Schlafstadien SWS bzw. REM an der Gesamtschlafzeit mit den absoluten und relativen Leistungen der Probanden beim Abruf zusammenhängen.

Die Daten aus den Fragebögen zur Befindlichkeit (MDBF) und zur Schläfrigkeit (SSS) wurden mittels Varianzanalysen ausgewertet.

Alle ermittelten Ergebnisse wurden als Mittelwerte (MW) mit entsprechendem Standardfehler des Mittelwertes (standard error of the mean (SEM)) aufgeführt.

Statistische Signifikanz wurde definiert als Ergebnis $p < 0,05$. Eine statistische Tendenz liegt bei einem Wert von $p < 0,10$ vor.

4 Ergebnisse

4.1 Probandenkollektiv

An der Studie nahmen insgesamt 99 Probanden teil. Das mittlere Alter der Studienteilnehmer lag bei 22,56 Jahren ($\pm 3,546$ Jahre). 56 der Probanden waren weiblichen (57,4%) und 43 männlichen (42,6%) Geschlechts.

Die Versuchspersonen wurden randomisiert auf vier verschiedene Experimentalgruppen verteilt: 20 Probanden gehörten der Gruppe ‘Schlaf mit Intention’ an, 28 Probanden der Gruppe ‘Schlaf ohne Intention’, 20 Probanden der Gruppe ‘Wach mit Intention’ und 31 Probanden der Gruppe ‘Wach ohne Intention’. Allerdings mussten von diesen 99 Studienteilnehmern insgesamt 21 von der statistischen Datenauswertung aufgrund ihrer Antworten im Abschlussfragebogen ausgeschlossen werden: In die Prüfung der Hypothese 2 (siehe 2.4) konnten die Ergebnisse von 10 Probanden der Gruppe ‘Schlaf ohne Intention’ sowie 11 Probanden der Gruppe ‘Wach ohne Intention’ nicht einbezogen werden. Ausschlusskriterium war dabei die Angabe der Probanden im Abschlussfragebogen, trotz gegenteiliger Instruktion (‘ohne Intention’) schon am Abend geahnt zu haben, dass sie die soeben gelernten Aufgaben am Morgen erneut durchführen sollen. Sie wurden zusätzlich befragt, wie sicher sie sich in dieser Vorahnung gewesen waren (Antwortmöglichkeiten: eher unsicher – relativ sicher – sehr sicher). Bei jeglicher Vorahnung – 6 Probanden waren sich eher unsicher, 10 relativ sicher, 3 sehr sicher und 2 machten keine Angaben – wurden die Probanden für die Testung der Hypothese 2 den Ausschlussgruppen ‘Schlaf mit Antizipation’ bzw. ‘Wach mit Antizipation’ zugeordnet. Damit verblieben 78 Personen für die Testung der Hypothese 2, die sich wie folgt auf die vier Experimentalgruppen verteilten: 20 Probanden gehörten der Bedingung ‘Schlaf mit Intention’ an, 18 Probanden der Bedingung ‘Schlaf ohne Intention’, 20 Probanden der Bedingung ‘Wach mit Intention’ sowie 20 Probanden der Bedingung ‘Wach ohne Intention’. Aufgrund von technischen Fehlern waren die Daten eines dieser Probanden für die Auswertung nicht verwertbar. Die folgende Tabelle gibt die genaue Anzahl der Probanden und Geschlechterverteilung innerhalb der Experimentalgruppen an und stellt die Anzahl der für die Prüfung der Hypothese 2 ausgeschlossenen Probanden dar.

Tabelle 2.

Geschlechterverteilung und Probandenanzahl je Experimental-/Ausschlussgruppe

Probandengruppe	Geschlecht		Anzahl
	Weiblich	Männlich	
‘Schlaf mit Intention’	12	8	20
‘Schlaf ohne Intention’	10	8	18
‘Wach mit Intention’	11	9	20
‘Wach ohne Intention’	9	11	20
‘Schlaf mit Antizipation’	5	5	10
‘Wach mit Antizipation’	9	2	11
Gesamt	56	43	99

Tabelle 2 führt die Geschlechterverteilung und die Gesamtanzahl an Probanden für jede der vier Experimentalgruppen, für die zwei Ausschlussgruppen und das Gesamtprobandenkollektiv auf.

4.2 Kognitive Daten

4.2.1 Fingertapping-Aufgabe – Lernphase

Die vier Experimentalgruppen wurden hinsichtlich ihrer Leistung in der Fingertapping-Aufgabe zum Ende der Lernphase am Abend miteinander verglichen. Dazu wurde die absolute Anzahl korrekter Sequenzen der drei letzten Testblöcke (10–12) der Fingertapping-Aufgabe verwendet, welche in Tabelle 3 als Mittelwerte mit Standardfehler des Mittelwertes (standard error of the mean (SEM)) je Experimentalgruppe angegeben sind.

Tabelle 3. Absolute Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe abends

Experimentalgruppe	MW \pm SEM
‘Schlaf mit Intention’	14,98 \pm 1,19
‘Schlaf ohne Intention’	13,84 \pm 0,90
‘Wach mit Intention’	14,15 \pm 0,71
‘Wach ohne Intention’	13,27 \pm 0,84

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte (MW) \pm Standardfehler des Mittelwertes (SEM) der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe abends zum Ende der Lernphase für jede Experimentalgruppe angegeben.

In einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Faktoren Bedingung (‘Schlaf/Wach’) und Instruktion (‘mit/ohne Intention’) ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den vier Experimentalgruppen bezüglich der abends erreichten Lernleistung in der Fingertapping-Aufgabe (für alle Haupteffekte und Interaktionen $p > 0,29$). Daher ist davon auszugehen, dass die vier Experimentalgruppen am Ende der Lerndurchgänge in ihrer Lernleistung vergleichbar waren und daher auf vergleichbarem Ausgangsniveau die Konsolidierungsphase begonnen haben.

4.2.2 Fingertapping-Aufgabe – Konsolidierungsphase

Um den Leistungszuwachs zwischen der Lern- und Abfragephase exakter beurteilen zu können, wurden die Mittelwerte der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen der letzten drei Testblöcke 10–12 am Abend mit denen der drei Testblöcke 2–4 am Morgen verglichen und die sich daraus ergebende Differenz errechnet. In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 4) sind die Mittelwerte der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen der Abfrage am Morgen (Block 2–4) mit entsprechendem Standardfehler aufgeführt. Tabelle 5 gibt die Differenz der Mittelwerte zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen mit Standardfehler je Experimentalgruppe an.

Tabelle 4. Absolute Anzahl korrekter Sequenzen morgens

Experimentalgruppe	MW \pm SEM
‘Schlaf mit Intention’	19,58 \pm 0,97
‘Schlaf ohne Intention’	17,07 \pm 1,15
‘Wach mit Intention’	15,68 \pm 0,97
‘Wach ohne Intention’	16,53 \pm 1,00

Die Tabelle 4 stellt die Mittelwerte (MW) mit Standardfehler des Mittelwertes (SEM) der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen als Ergebnis der Fingertapping-Aufgabe in der Abrufphase am Morgen je Experimentalgruppe dar.

Tabelle 5.

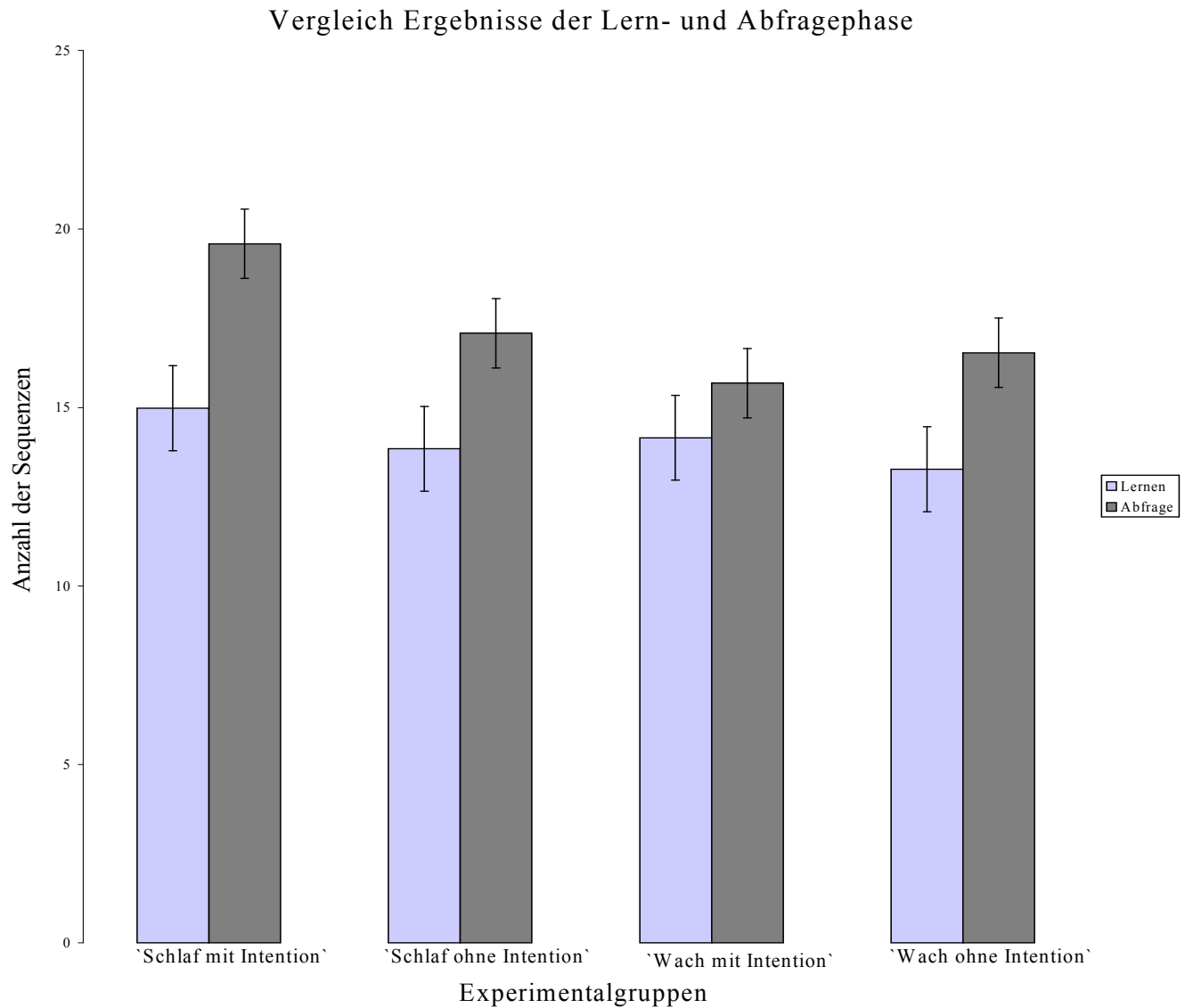
Absolute Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen

Experimentalgruppe	MW \pm SEM
‘Schlaf mit Intention’	3,86 \pm 0,63
‘Schlaf ohne Intention’	2,80 \pm 0,82
‘Wach mit Intention’	1,53 \pm 0,67
‘Wach ohne Intention’	2,11 \pm 0,41

Die Tabelle 5 führt die absolute Differenz der Mittelwerte (MW) mit Standardfehler des Mittelwertes (SEM) zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe für jede Experimentalgruppe auf.

In der durchgeführten zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigte sich erwartungsgemäß eine statistisch signifikant bessere Leistung bei der Abfrage am Morgen bei den Probanden, die nach dem Lernen geschlafen hatten (mittlere Anzahl an korrekten Sequenzen $18,40 \pm 0,77$) im Vergleich zu den Probanden, die wach geblieben waren ($16,09 \pm 0,69$; ($F(1, 71) = 4,77$; $p < 0,05$)). Dieser Effekt war ebenfalls in der Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Leistung (relative Leistung) nachweisbar: In den beiden Schlafgruppen zeigte sich im Vergleich zu den beiden Wachgruppen ein deutlich größerer Leistungszuwachs (Schlaf: $3,36 \pm 0,51$; Wach: $1,81 \pm 0,40$; ($F(1, 71) = 5,57$; $p < 0,05$)). Dementsprechend fördert ein Schlafintervall nach dem Lernen die Konsolidierung prozeduraler Inhalte unabhängig davon, ob die Probanden über eine erneute Abfrage am Morgen informiert sind.

Abbildung 7. Ergebnisse der vier Experimentalgruppen in der Fingertapping-Aufgabe in Lern- und Abfragephase



Auf der Y-Achse sind die Mittelwerte der Anzahl der Sequenzen zu beiden Zeitpunkten angegeben, wobei hellgraue Balken die Mittelwerte in der Lernphase darstellen und dunkelgraue Balken für die Mittelwerte der Abfragephase stehen. Der entsprechende Standardfehler des Mittelwertes ist durch eine schwarze Linie angezeigt. Die X-Achse führt die vier verschiedenen Experimentalgruppen auf: 'Schlaf mit Intention', 'Schlaf ohne Intention', 'Wach mit Intention' und 'Wach ohne Intention'.

Die Relevanz des Faktors Instruktion konnte dagegen nicht belegt werden: Weder die absolute Abfrageleistung ($F(1,71) = 0,66$; $p > 0,42$) noch die Differenz zwischen Lern- und Abfrageblock ($F(1,71) = 0,14$; $p > 0,71$) ergaben statistisch signifikante Unterschiede. Auch die Interaktion zwischen den Faktoren Bedingung und Instruktion bezogen auf die

relative motorische Leistung war nicht signifikant ($F(1,71) = 1,61$; $p = 0,21$). Allerdings zeigte sich ein statistischer Trend für die Interaktion zwischen beiden Faktoren bei der absoluten Leistung am Morgen ($F(1,71) = 2,70$; $p = 0,10$).

Um diesen marginal signifikanten Effekt eingehender zu analysieren, wurden im anschließenden t-Test beide Schlafgruppen ('mit/ohne Intention') und beide Wachgruppen ('mit/ohne Intention') miteinander verglichen. Zwischen den Probanden beider Schlafgruppen ergaben sich darin allerdings weder in der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen morgens ($t = 1,42$, $p > 0,17$), in der absoluten Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen ($t = 1,38$, $p > 0,18$) noch in der relativen Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen ($t = 0,24$, $p > 0,81$) signifikante Unterschiede.

Tabelle 6.
Vergleich der Experimentalgruppen 'Schlaf mit Intention' und 'Schlaf ohne Intention'

	Instruktion	MW \pm SEM
Absolute Anzahl korrekter Sequenzen morgens	'Mit Intention'	19,35 \pm 0,95
	'Ohne Intention'	17,30 \pm 1,11
Absolute Differenz abends – morgens	'Mit Intention'	4,37 \pm 0,78
	'Ohne Intention'	2,80 \pm 0,82
Relative Differenz abends – morgens	'Mit Intention'	128,47 \pm 5,49
	'Ohne Intention'	126,17 \pm 7,95

In dieser Tabelle werden die Mittelwerte (MW) mit entsprechendem Standardfehler des Mittelwertes (SEM) der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen morgens, die absolute sowie die relative Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen beider Experimentalgruppen der Bedingung Schlaf gegenübergestellt.

Auch der Vergleich beider Wachgruppen miteinander erbrachte keine signifikanten Differenzen in der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen morgens ($t = -0,03$, $p > 0,98$), in der absoluten Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen ($t = -0,57$, $p > 0,57$) oder in der relativen Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen ($t = -0,74$, $p > 0,47$).

Tabelle 7.

Vergleich der Experimentalgruppen ‘Wach mit Intention’ und ‘Wach ohne Intention’

	Instruktion	MW ± SEM
Absolute Anzahl korrekter Sequenzen morgens	‘Mit Intention’	15,68 ± 0,97
	‘Ohne Intention’	15,73 ± 1,23
Absolute Differenz abends – morgens	‘Mit Intention’	1,53 ± 0,67
	‘Ohne Intention’	1,98 ± 0,40
Relative Differenz abends – morgens	‘Mit Intention’	111,69 ± 4,97
	‘Ohne Intention’	116,20 ± 3,49

In dieser Tabelle werden die Mittelwerte (MW) mit entsprechendem Standardfehler des Mittelwertes (SEM) der absoluten Anzahl korrekter Sequenzen morgens, die absolute sowie die relative Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen beider Experimentalgruppen der Bedingung Wach gegenübergestellt.

4.2.3 Vergleich der Gruppen ‘mit Intention’, ‘ohne Intention’ und ‘Antizipation’

21 Probanden aus den beiden Bedingungen ‘Schlaf ohne Intention’ und ‘Wach ohne Intention’ gaben im Abschlussfragebogen an, dass sie bereits abends nach dem Lernen geahnt hatten, dass morgens erneut die soeben gelernten Aufgaben abgefragt werden (siehe 3.1). Diese 21 Personen wurden für die Testung der Hypothese 2 aus der Datenanalyse ausgeschlossen, da eine derartige, in diesem Fall unerwünschte Vorahnung (im folgenden als ‘Antizipation’ bezeichnet) gemäß Hypothese 3 (siehe 2.4) die schlafassoziierte Gedächtniskonsolidierung prozeduraler Inhalte in ähnlichem Ausmaß beeinflussen könnte wie die experimentell gewünschte Instruktion ‘mit Intention’.

Die Auswirkungen dieser ‘Antizipation’ auf den Lernzuwachs am Morgen wurden mit den Bedingungen ‘mit Intention’ sowie ‘ohne Intention’ auf eben diesen Lerngewinn mittels Varianzanalyse verglichen. Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der drei Varianten ausführlich dar.

Tabelle 8.

Absolute Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen der Gruppen ‘mit Intention’, ‘ohne Intention’ und ‘Antizipation’

Experimental- bzw. Ausschlussgruppe	MW \pm SEM
‘Schlaf mit Intention’	3,86 \pm 0,63
‘Schlaf ohne Intention’	2,80 \pm 0,82
‘Schlaf mit Antizipation’	1,41 \pm 0,85
‘Wach mit Intention’	1,53 \pm 0,67
‘Wach ohne Intention’	2,11 \pm 0,41
‘Wach mit Antizipation’	1,22 \pm 0,85

Die Tabelle 8 stellt die absolute Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen der Fingertapping-Aufgabe als Mittelwert (MW) und Standardfehler des Mittelwertes (SEM) dar. Gegenübergestellt werden dabei die Experimentalgruppen ‘mit Intention’ und ‘ohne Intention’ den Ausschlussgruppen ‘Antizipation’.

In der absoluten Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekt eingegebener Sequenzen bei der Fingertapping-Aufgabe unterscheiden sich die Gruppen ‘mit Intention’ (2,67 \pm 0,49), ‘ohne Intention’ (2,44 \pm 0,44) und ‘mit Antizipation’ (1,30 \pm 0,59) nicht wesentlich voneinander. Demnach erbrachte die statistische Analyse keine signifikanten Unterschiede für den Haupteffekt Intention ($F(2,90) = 1,75$; $p > 0,18$). Auch die Interaktion der beiden Faktoren Bedingung und Instruktion konnte keine signifikanten Differenzen nachweisen ($F(2,90) = 1,29$; $p > 0,28$). Erwartungsgemäß lagen die Ergebnisse der Schlafgruppen (2,97 \pm 0,45) über denen der Wachgruppen (1,67 \pm 0,36). Der Haupteffekt Schlaf/Wach ist marginal signifikant ($F(1,90) = 3,28$; $p < 0,07$).

4.3 Schlafdaten

Die Schlafgruppen ('Schlaf mit Intention' und 'Schlaf ohne Intention') wurden während des Retentionsschlafes polysomnographisch überwacht. Aus den registrierten Standard-Polysomnographie-Daten wurden die durchschnittliche Gesamtschlafzeit sowie der durchschnittliche Schlafanteil jedes Schlafstadiums in Minuten ermittelt. Außerdem wurden die relativen Anteile der Schlafstadien bezogen auf die Gesamtschlafzeit im Durchschnitt errechnet. Die polysomnographischen Daten beider Schlafgruppen ('Schlaf mit Intention' und 'Schlaf ohne Intention') wurden mittels t-Test miteinander verglichen. Dabei ergaben sich keine signifikanten Differenzen in den Schlafparametern beider Gruppen (für alle Größen $p > 0,05$). Eine Korrelationsanalyse nach Pearson der relativen und absoluten Anteile der Schlafstadien SWS und REM an der Gesamtschlafzeit bezogen auf die absolute und relative Abrufleistung der Fingertapping-Aufgabe am Morgen ergab keine signifikanten Unterschiede (für alle Vergleiche: $p > 0,25$).

Tabelle 9. Schlafparameter des nächtlichen Retentionsschlafes

Schlafparameter	‘Schlaf mit Intention’	‘Schlaf ohne Intention’
	MW ± SEM	MW ± SEM
Schlafstadien – Zeit in Minuten		
Wach	3,33 ± 1,21	6,88 ± 3,70
Stadium 1	26,27 ± 4,66	23,75 ± 2,90
Stadium 2	237,20 ± 9,36	248,47 ± 10,50
SWS	73,57 ± 8,82	59,94 ± 7,54
REM	100,10 ± 4,51	102,28 ± 8,83
Bewegung	5,17 ± 1,02	4,16 ± 0,61
Gesamtschlafzeit	445,63 ± 6,54	445,47 ± 9,87
Schlafstadien – Relativer Anteil in Prozent		
Wach	0,74 ± 0,28	1,54 ± 0,84
Stadium 1	5,88 ± 1,02	5,34 ± 0,67
Stadium 2	53,12 ± 1,75	56,09 ± 2,47
SWS	16,57 ± 2,03	13,49 ± 1,68
REM	22,49 ± 1,02	22,61 ± 1,51
Bewegung	1,18 ± 0,25	0,92 ± 0,14

Tabelle 9 stellt die Gesamtschlafzeit sowie die Anteile der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafzeit in Minuten und in Prozent als Mittelwert (MW) und Standardfehler des Mittelwertes (SEM) dar.

4.4 Kontrollvariablen

Störfaktoren wie individuelle Stimmungslage oder Müdigkeit können Einfluss auf die Ergebnisse der Fingertapping-Aufgabe nehmen. Um derartige Auswirkungen auszuschließen, wurden diese Parameter anhand des mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens bzw. der Stanford-Schläfrigkeitsskala ermittelt.

4.4.1 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen

Probanden aller Experimentalgruppen füllten direkt dem Lernvorgang wie der Abfragephase vorausgehend den MDBF-Kurzform A aus. Die Ergebnisse sind als Mittelwerte mit entsprechendem Standardfehler je Adjektiv in der Tabelle für jede Experimentalgruppe einzeln aufgeführt.

Tabelle 10. MDBF am Abend vor der Lernphase

Adjektiv	‘Schlaf mit Intention’	‘Schlaf ohne Intention’	‘Wach mit Intention’	‘Wach ohne Intention’
1 zufrieden	4,05 ± 0,13	3,71 ± 0,14	3,90 ± 0,14	3,84 ± 0,16
2 ausgeruht	3,35 ± 0,22	2,71 ± 0,18	3,45 ± 0,17	3,06 ± 0,16
3 ruhelos	1,75 ± 0,16	1,93 ± 0,19	2,85 ± 0,27	2,06 ± 0,19
4 schlecht	1,15 ± 0,08	1,32 ± 0,13	1,70 ± 0,21	1,31 ± 0,10
5 schlapp	2,35 ± 0,22	2,64 ± 0,21	2,30 ± 0,23	2,38 ± 0,18
6 gelassen	4,00 ± 0,24	3,75 ± 0,15	3,75 ± 0,16	3,94 ± 0,13
7 müde	2,90 ± 0,22	3,07 ± 0,18	2,50 ± 0,22	2,59 ± 0,17
8 gut	3,85 ± 0,17	3,93 ± 0,15	3,85 ± 0,20	4,23 ± 0,13
9 unruhig	1,65 ± 0,18	1,68 ± 0,17	1,85 ± 0,18	1,78 ± 0,21
10 munter	3,00 ± 0,25	2,71 ± 0,18	3,25 ± 0,22	3,38 ± 0,15
11 unwohl	1,15 ± 0,08	1,39 ± 0,16	1,75 ± 0,22	1,56 ± 0,14
12 entspannt	3,70 ± 0,16	3,64 ± 0,13	3,65 ± 0,15	3,59 ± 0,17

Tabelle 10 stellt die Ergebnisse des MDBF abends vor der Lernphase anhand des Mittelwertes ± Standardfehler des Mittelwertes jedes der zwölf Adjektive für die vier Experimentalgruppen dar.

Die vier Experimentalgruppen unterschieden sich in der überwiegenden Zahl der Ergebnisse, welche ihre Stimmung widerspiegelten, nicht signifikant voneinander. Allerdings ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schlaf- und Wachgruppen in folgenden Faktoren: Die Wachprobanden waren ruheloser ($p < 0,004$) und munterer ($p < 0,02$) als die Schlafprobanden. Sie fühlten sich unwohler ($p < 0,02$) und schlechter ($p < 0,04$) als die Schlafprobanden. Dagegen waren die Versuchsteilnehmer der Schlafbedingung zu diesem Zeitpunkt müder als die der Wachbedingung ($p < 0,03$).

Im Vergleich der Gruppen ‘mit Intention’ und ‘ohne Intention’ zeigte allein ein Wert statistische Signifikanz: Versuchspersonen der Gruppen ‘mit Intention’ fühlten sich demnach ausgeruhter als Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ ($p < 0,008$).

Tabelle 11. MDBF am Morgen vor der Abrufphase

Adjektiv	‘Schlaf mit Intention’	‘Schlaf ohne Intention’	‘Wach mit Intention’	‘Wach ohne Intention’
1 zufrieden	3,75 ± 0,24	3,43 ± 0,20	3,16 ± 0,18	3,00 ± 0,16
2 ausgeruht	3,55 ± 0,21	3,07 ± 0,19	1,90 ± 0,20	1,61 ± 0,16
3 ruhelos	1,55 ± 0,17	1,46 ± 0,14	2,32 ± 0,20	2,18 ± 0,19
4 schlecht	1,50 ± 0,22	1,54 ± 0,17	2,16 ± 0,22	2,61 ± 0,17
5 schlapp	2,75 ± 0,26	2,79 ± 0,21	3,32 ± 0,22	3,79 ± 0,21
6 gelassen	3,85 ± 0,20	3,64 ± 0,18	3,37 ± 0,23	3,24 ± 0,17
7 müde	3,00 ± 0,22	3,29 ± 0,24	3,84 ± 0,21	4,00 ± 0,21
8 gut	3,80 ± 0,19	3,54 ± 0,18	3,21 ± 0,18	2,94 ± 0,16
9 unruhig	1,50 ± 0,20	1,57 ± 0,16	2,21 ± 0,22	2,15 ± 0,21
10 munter	2,95 ± 0,21	2,32 ± 0,18	1,95 ± 0,18	2,09 ± 0,19
11 unwohl	1,30 ± 0,21	1,68 ± 0,20	2,26 ± 0,25	2,49 ± 0,18
12 entspannt	3,65 ± 0,18	3,50 ± 0,18	2,95 ± 0,27	2,91 ± 0,19

Tabelle 11 stellt die Ergebnisse des MDBF morgens vor der Abrufphase anhand des Mittelwertes ± Standardfehler des Mittelwertes jedes der zwölf Adjektive für die vier Experimentalgruppen dar.

Morgens ergaben sich für den MDBF folgende Ergebnisse: Die Gruppen ‘mit Intention’ und ‘ohne Intention’ waren gut untereinander vergleichbar, sie unterschieden sich statistisch signifikant lediglich in einem Faktor: Die Gruppen ‘mit Intention’ waren ausgeruhter als die Gruppen ‘ohne Intention’ ($p < 0,05$). Im Vergleich der Schlaf- und Wachgruppen wiesen alle zwölf Variablen signifikante Unterschiede auf (alle $p < 0,03$).

4.4.2 Stanford-Schläfrigkeitsskala

Die Müdigkeit wurde durch die Probanden subjektiv mittels der Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) am Abend vor der Lernphase und am Morgen vor der Abrufprüfung eingeschätzt. In der untenstehenden Tabelle sind Mittelwerte mit jeweiligem Standardfehler für jede Experimentalgruppe aufgeführt.

Tabelle 12. SSS am Abend und am Morgen im Vergleich

Zeitpunkt	‘Schlaf mit Intention’	‘Schlaf ohne Intention’	‘Wach mit Intention’	‘Wach ohne Intention’
Abends	2,65 ± 0,21	2,79 ± 0,13	2,55 ± 0,20	2,69 ± 0,17
Morgens	2,90 ± 0,26	3,32 ± 0,24	4,45 ± 0,25	4,69 ± 0,23

Die Tabelle 12 gibt den Mittelwert ± Standardfehler des Mittelwertes der Stanford-Schläfrigkeitsskala im Vergleich abends und morgens je Experimentalgruppe an.

Demnach bestand abends vor der Lernphase kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Müdigkeit innerhalb der vier Experimentalgruppen. Eine signifikante Differenz in der subjektiv eingeschätzten Schläfrigkeit ergab sich jedoch morgens zwischen den Schlaf- und Wachgruppen ($F(1,96) = 34,74$; $p < 0,00$): Die Probanden der Wachgruppen fühlten sich zu diesem Zeitpunkt erwartungsgemäß deutlich müder als die Schlafprobanden. Die Gruppen ‘mit Intention’ und ‘ohne Intention’ waren bezüglich der Schläfrigkeit am Abend und am Morgen vergleichbar ($F(1,96) = 0,53$; $p > 0,47$). Auch im Vergleich der vier Experimentalgruppen untereinander wurden keine signifikanten Unterschiede der Müdigkeit festgestellt ($F(1,96) = 0,12$; $p > 0,73$).

5 Diskussion

Der vorliegenden Studie liegt die Frage zugrunde: Können Menschen solche Gedächtnisinhalte besser erinnern, die sie für ihr zukünftiges Verhalten als bedeutsam ansehen, als Gedächtnisinhalte ohne Zukunftsbezug? Im Speziellen wird in der vorgestellten Studie untersucht, ob sich das Wissen um eine erneute Abfrage von Aufgaben positiv auf die schlafabhängige Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte auswirkt. Dadurch lässt sich die Hypothese überprüfen, ob Schlaf nicht alle neu erlernten Gedächtnisinhalte gleichermaßen fördert, sondern – verglichen mit nicht-intentionalen Inhalten – bevorzugt die Konsolidierung intentionaler Inhalte des prozeduralen Gedächtnisses verstärkt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Studie erbrachten erwartungsgemäß eine signifikant bessere Abrufleistung in der Fingertapping-Aufgabe der Probanden, welche das achtstündige Retentionsintervall schlafend verbracht hatten ('Schlaf mit/ohne Intention'), gegenüber denjenigen, die dieses Intervall über wach geblieben waren ('Wach mit/ohne Intention'). Die eingangs aufgestellte Hypothese 1 – also die fördernde Wirkung von Schlaf auf die Konsolidierung neu erlernter prozeduraler Inhalte – konnte dementsprechend bestätigt werden.

Dagegen ergaben die Studiendaten nicht die erwartete Überlegenheit der Gruppe 'Schlaf mit Intention' gegenüber der Gruppe 'Schlaf ohne Intention' in der Fingertapping-Aufgabe nach Retentionsschlaf am Morgen in statistisch signifikanter Form. Allerdings ist für die absolute Leistung am Morgen in den Interaktionsanalysen zwischen den Faktoren Bedingung und Instruktion eine statistische Tendenz zu beobachten. Demnach deuten die Studienergebnisse darauf hin, dass das Wissen um eine erneute Abfrage prozeduraler Inhalte deren Gedächtniskonsolidierung im Schlaf positiv beeinflusst. Die anfangs aufgestellte Hypothese 2 – also die bevorzugte Konsolidierung von intentionalen Inhalten gegenüber nicht-intentionalen Inhalten des prozeduralen Systems im Schlaf – konnte allerdings nicht durch einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen belegt werden.

Grundvoraussetzung für das Gelingen des Experimentes war, dass die Probanden der Gruppen 'Schlaf/Wach ohne Intention' keine Vorahnung über eine erneute Abfrage der Aufgaben am nächsten Morgen entwickelten. Durch den Abschlussfragebogen wurden 21 Probanden dieser Gruppen mit einer solchen Ahnung identifiziert und für die Testung der

Hypothese 2 ausgeschlossen, weil diese Vorahnung einen ähnlichen, wenn auch nicht so ausgeprägten, Effekt auf die Konsolidierung wie die gezielt hervorgerufene Intention ausüben könnte. Unter dieser Annahme wurden die Abrufergebnisse der Gruppen 'Schlaf mit Intention' und 'Schlaf mit Antizipation' mittels Varianzanalyse verglichen. Darin konnte jedoch Hypothese 3, nämlich eine der Intention vergleichbare Wirkung von Antizipation auf die schlafabhängige Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte, nicht bestätigt werden: Vielmehr zeigten sich diejenigen Teilnehmer mit gezielter Intentionsbildung denjenigen mit reiner Antizipation in der absoluten Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen rein deskriptiv überlegen ohne hierbei jedoch statistische Signifikanz zu erreichen. Es ist demnach festzuhalten, dass die alleinige Vorahnung über eine erneute Abfrage nicht in dem Ausmaß wie eine konkret erzeugte Intention auf schlafabhängige Konsolidierungsvorgänge prozeduraler Inhalte Einfluss nimmt. Anscheinend muss eine klare Intention bezüglich der neu erlernten Inhalte gebildet sein, damit Gedächtnis verarbeitende Prozesse im Schlaf deutlich verstärkt werden.

Bezug zum theoretischen Hintergrund

Schlaf nach dem Lernen neuer Inhalte fördert die Gedächtnisbildung erheblich durch schlafassoziierte Konsolidierungsprozesse, wie zahlreiche Studien der letzten Jahre belegt haben (Maquet, 2001; Peigneux et al., 2001; Stickgold et al., 2001), gerade für prozedurale Inhalte (Karni et al., 1994; Gais et al., 2000; Stickgold et al., 2000a; Fischer et al., 2002; Walker et al., 2002). Auch für deklarative Inhalte konnte solch ein fördernder Effekt schlafassoziiertes Konsolidierungsvorgänge nachgewiesen werden (Gais und Born, 2004; Gais et al., 2006).

Unzureichend geklärt ist bislang die Frage, ob ausnahmslos alle oder nur bestimmte Gedächtnisinhalte von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen profitieren. Vermutlich werden nicht alle neu erlernten Informationen in gleichem Maße durch schlafabhängige Konsolidierungsprozesse verstärkt (Diekelmann et al., 2009). Vielmehr scheinen bestimmte Faktoren, wie etwa die Relevanz der Inhalte für das Individuum, das Ausmaß der schlafassoziierten Konsolidierung zu bestimmen. Studien der letzten Jahren beschäftigten sich daher mit den Bedingungen, unter welchen Konsolidierungsprozesse während des Schlafs in besonderem Maße gefördert werden: So konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass emotional konnotiertes deklaratives Material weitaus stärker von schlafabhängigen Prozessen profitiert als neutrales Material (Wagner et al., 2001; Hu

et al., 2006; Sharot et al., 2007). Ebenso werden schlafassoziierte Konsolidierungsprozesse durch den Schwierigkeitsgrad der erlernten prozeduralen Aufgabe beeinflusst (Kuriyama et al., 2004). Ebenfalls wird vermutet, dass die individuelle Motivation, sich bestimmte Inhalte zu merken, Einfluss auf die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf nimmt (Fischer und Born, 2009). Diese Erkenntnisse stützen die Ansicht, dass nicht alle neu erlernten Gedächtnisinhalte undifferenziert und gleichermaßen von schlafabhängiger Konsolidierung profitieren, sondern dass insbesondere für das Individuum relevantes Material – da beispielsweise mit Belohnungen, Emotionen oder Erwartungen assoziiert – verstärkt im Schlaf verarbeitet und somit besser erinnert wird.

Bis zu diesem Zeitpunkt nicht erforscht wurde der Einfluss des Faktors Intention auf die schlafabhängige Gedächtniskonsolidierung. Als Intention wird in diesem Zusammenhang die Absicht eines Individuums verstanden, eine bestimmte Handlung in Zukunft auszuführen. Allein im Wachzustand wurde bisher eine verbesserte Gedächtnisleistung für intentionale gegenüber nicht-intentionalen (neutralen, in Zukunft bedeutungslosen) Inhalten untersucht und belegt (Goschke und Kuhl, 1993). Als Ursache der privilegierten Verarbeitung intentionaler Gedächtnisinhalte nehmen Goschke und Kuhl das erhöhte Aktivierungsniveau der betreffenden neuronalen Repräsentationen verglichen mit nicht-intentionalen Repräsentationen an. Dadurch sollen intentionale Gedächtnisinhalte der weiterführenden Konsolidierung, die größtenteils im Schlaf mittels Reaktivierung neuronaler Repräsentationen stattfindet, verstärkt zugänglich sein. Demzufolge müssten intentionale Gedächtnisinhalte gegenüber nicht-intentionalen Inhalten von schlafabhängiger Konsolidierung in besonderem Maß profitieren und somit besser erinnert werden.

Auf diese Thesen Bezug nehmend prüfte die vorliegende Studie am Beispiel des prozeduralen Gedächtnisses, ob das Wissen um eine erneute Abfrage von Aufgaben die schlafabhängige Konsolidierung der gelernten Inhalte verstärkt. Alle Probanden erlernten abends eine Fingertapping-Aufgabe (sowie assoziierte Wortpaare) unter der Annahme, dass der Einfluss des Wissens um eine bevorstehende Schlaf- bzw. Wachnacht auf die Kurzzeitgedächtnisbildung erforscht werde. Danach wurde ein Teil der Probanden (Experimentalgruppen 'Schlaf bzw. Wach mit Intention') darüber informiert, dass diese Aufgaben am nächsten Morgen nochmals abgefragt werden. Diese Instruktion hatte eine Intentionsbildung bezogen auf die gelernten Aufgaben zur Folge. Dagegen wurde der andere Teil der Probanden (Experimentalgruppen 'Schlaf bzw. Wach ohne Intention') in dem Glauben gelassen, dass diese Aufgaben nicht erneut durchgeführt werden und am

nächsten Morgen lediglich eine Reaktionszeitaufgabe zu absolvieren sei. Bei diesen Versuchsteilnehmern kam es nicht zu einer Intentionbildung hinsichtlich der gelernten Aufgaben, da sie nicht als zukünftig relevante Informationen aufgefasst wurden. Nach einem achtstündigen Retentionsintervall, das jeweils zwei Gruppen (‘mit bzw. ohne Intention’) schlafend und zwei wach verbrachten, erfolgte morgens für alle Gruppen die erneute Abfrage der abends gelernten Aufgaben (Fingertapping-Aufgabe sowie assoziierte Wortpaare).

Mögliche Störvariablen

Störenden Einfluss auf die schlafabhängige Gedächtniskonsolidierung können personenabhängige Faktoren nehmen wie gestörter Schlafverlauf, Unterschiede in individueller Befindlichkeit und Schläfrigkeit, gesteigerte Konsolidierung durch aktive Übungsprozesse sowie nicht wahrheitsgemäße Angaben im Abschlussfragebogen.

Eine nicht gewöhnliche Schlafarchitektur kann negativen Einfluss auf die Gedächtnisbildung ausüben: Denn die schlafabhängige Konsolidierung neu erlernter Inhalte ist in hohem Maße auf einen ungestörten und regelhaften Schlafverlauf während des Retentionsintervalles angewiesen. Um überprüfen zu können, dass die Schlafdauer und -struktur sich in beiden Schlafgruppen (‘mit/ohne Intention’) nicht wesentlich voneinander unterscheidet, wurden die Schlafprobanden polysomnographisch überwacht. Analysen der Schlafparameter beider Gruppen wiesen weder von der Norm abweichende Werte noch statistisch signifikante Differenzen untereinander auf. Somit ist davon auszugehen, dass in beiden Schlafgruppen bezüglich des Schlafs vergleichbare Voraussetzungen für die Konsolidierung der neu gelernten Inhalte gegeben waren.

Als weitere potentielle Störfaktoren wurden die individuelle Befindlichkeit sowie Schläfrigkeit in Betracht gezogen, welche anhand von Fragebögen jeweils vor Lern- und Abfragephase ermittelt wurden. Dabei unterschieden sich die vier Experimentalgruppen vor dem Lernen kaum voneinander: Die Schlafgruppen zeigten sich müder als die Wachgruppen, was als Antizipationshaltung in Erwartung des baldigen Schlafengehens gewertet wird. Dagegen fühlten sich die Wachprobanden zu diesem Zeitpunkt ruheloser und munterer sowie unwohler und schlechter als die Schlafprobanden. Dieses Stimmungsbild ist als Ausdruck der mentalen Einstellung auf eine bevorstehende, mit Schlafentzug und ungewissem Verlauf verbundene Wachnacht zu interpretieren. Insgesamt unterscheiden sich die Experimentalgruppen abends zwar in diesen wenigen Parametern

voneinander. Diese Unterschiede können allerdings alle darauf zurückgeführt werden, dass aufgrund verschiedener Gruppenzugehörigkeiten unterschiedliche Erwartungshaltungen entstanden sind. Auswirkungen dieser Stimmungsdifferenzen auf die nachfolgende Enkodierungsphase konnten durch einen Leistungsvergleich zum Ende dieser Phase ausgeschlossen werden, demzufolge alle vier Experimentalgruppen in ihrer Lernleistung vergleichbar waren. Morgens vor der Abfragephase waren die Gruppen 'mit Intention' und 'ohne Intention' gut vergleichbar. Zwischen Schlaf- und Wachgruppen ergaben sich morgens allerdings in allen abgefragten Variablen statistisch signifikante Unterschiede, was durch die beträchtlichen Auswirkungen einer Schlafdeprivation auf die individuelle Befindlichkeit erklärt werden kann.

Hinsichtlich der Schläfrigkeit unterschieden sich die vier Gruppen vor der Lernphase nicht statistisch signifikant voneinander und hatten daher in diesem Aspekt in der Lernphase gleiche Voraussetzungen. Morgens waren die Wachprobanden erwartungsgemäß müder als die Schlafprobanden, während sich die Gruppen 'Schlaf/Wach mit Intention' und 'Schlaf/Wach ohne Intention' nicht voneinander unterschieden. Somit sind zu diesem Zeitpunkt die Gruppen 'mit Intention' und 'ohne Intention' in Bezug auf die Schläfrigkeit vergleichbar, was von großer Bedeutung ist, da die Ergebnisse der Abrufphase somit uneingeschränkt verwertet werden können.

Die Konsolidierung neu erlernter Gedächtnisinhalte kann durch aktive Übungsprozesse (sogenanntes Rehearsal) gesteigert werden. Beim Rehearsal werden verbal oder im Geiste neue Inhalte wiederholt. Dies könnte die Studienergebnisse verfälschen, da sich durch Rehearsal im Anschluss an das Lernen die Ausgangsvoraussetzungen der Probanden voneinander unterscheiden könnten. Um einen solchen Effekt zunächst vorbeugend auszuschliessen, wurden die Probanden nach dem Lernvorgang angewiesen, die nächsten Minuten das leicht verständliche Computerspiel SNOOD zu spielen. Die mentale Beschäftigung mit einem Computerspiel sollte von den soeben erlernten Inhalten ablenken und dadurch das Rehearsal vorbeugen. Retrospektiv wurde zusätzlich mittels Fragebogen ermittelt, welche Probanden die gelernten Inhalte trotzdem wiederholt hatten. Dazu gaben die Probanden an, wie oft sie abends über die gelernten Zahlensequenzen (bzw. Wortpaare) nachgedacht hatten. Daten von Probanden, die mitteilten, häufig oder relativ häufig über die Inhalte nachgedacht zu haben, wurden nicht für die Ergebnisanalyse berücksichtigt.

Anhand des Abschlussfragebogens können nur rein subjektive Daten erhoben werden, weshalb nicht sichergestellt werden kann, dass die Probanden wahrheitsgemäß antworten. Es ist daher nicht vollkommen auszuschließen, dass einzelne Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ unterschwellig eine Intention bezüglich der gelernten Aufgaben bildeten, diese aber im Abschlussfragebogen verschwiegen, um ihrer Rolle als guter Proband gerecht zu werden. Dieses Verhalten entspricht dem psychologischen Phänomen der sozialen Erwünschtheit, wobei Probanden nicht wahrheitsgemäß antworten, sondern entsprechend der vermuteten Erwartungen des Versuchsleiters Angaben machen. Dies hätte eine Verfälschung des Ergebnisses zur Folge und könnte eine Erklärung für die fehlenden signifikanten Unterschiede in der Leistungssteigerung zwischen intentionaler und nicht-intentionaler Konsolidierung sein. Allerdings ist dieser Einwand recht unwahrscheinlich, weil die erfolgten Instruktionen die Probanden nicht auf das von ihnen erwünschte Verhalten schließen ließen.

Durch die beschriebenen Methoden ist ein die Ergebnisse verfälschender Einfluss durch Störfaktoren weitgehend auszuschließen.

Überprüfung der experimentellen Manipulation

Entscheidend für den Erfolg des Experimentes war die erfolgreiche Induktion einer Intention bei Probanden der Gruppen ‘mit Intention’ bzw. das Verhindern einer Intentionsbildung bei Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ mittels experimenteller Manipulation. Die kritische Prüfung der Frage, inwieweit die experimentelle Manipulation der Probanden gelungen ist, ist essentiell, um beurteilen zu können, ob die durchgeführte Studie eine valide Aussage zu den formulierten Hypothesen (siehe 2.4) treffen kann. Konkret: Haben die Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ gemäß ihrer Instruktion tatsächlich geglaubt, dass morgens lediglich die Reaktionszeitaufgabe und nicht erneut die abends gelernten Aufgaben durchgeführt werden? Denn eine derartige Überzeugung der Probanden der Gruppen ‘ohne Intention’ ist Voraussetzung dafür, dass ihr Gedächtnis die neu erlernten Inhalte als nicht-intentionale Repräsentationen anlegt und verarbeitet. Nur unter diesen Umständen lassen sich die Konsolidierungsprozesse der nicht-intentionalen Repräsentationen (Gruppen ‘ohne Intention’) mit denen der intentionalen Repräsentationen (Gruppen ‘mit Intention’) korrekt miteinander vergleichen. Um den Effekt der experimentellen Manipulation zu überprüfen, wurden folgende Methoden eingesetzt:

Schon im Vorfeld des Experimentes wurde bei der Rekrutierung der Studienteilnehmer darauf geachtet, dass ausschließlich Personen, welche noch nie an Studien zur Gedächtnisforschung des Institutes für Neuroendokrinologie teilgenommen hatten, als Probanden zugelassen wurden. Nach einer früheren Teilnahme an neurokognitiven Studien hätten die Probanden Kenntnis des üblichen Ablaufs solcher Experimente gehabt, bei denen in der Regel dieselben Aufgaben vor und nach einem Retentionsintervall bewältigt werden müssen. Dieses Ausschlusskriterium sollte folglich verhindern, dass die Probanden aufgrund ihrer bereits gesammelten Studienerfahrungen eine erneute Abfrage der Fingertapping-Aufgabe am Morgen trotz gegenteiliger Instruktion (Gruppen 'ohne Intention') erwarten, was den beabsichtigten Effekt der experimentellen Manipulation aufgehoben hätte.

Während des Versuches diente folgende Coverstory der experimentellen Manipulation: Probanden aller vier Gruppen erhielten vor dem Lernen die Information, dass diese Studie aus zwei unabhängig voneinander durchgeführten Experimenten bestehe. Im ersten Versuch abends werde der Einfluss des Wissens um eine bevorstehende Schlaf- bzw. Wachnacht auf das Lernen von Gedächtnistests untersucht. Den Probanden gegenüber wurde behauptet, dass eine neu aufgestellte Hypothese geprüft werden solle, die besagt, dass das Wissen darum, ob man nach dem Lernen schlafen kann oder wach bleiben muss, die Gedächtnisbildung viel stärker beeinflusst als – wie bisher angenommen – der Schlaf an sich. Zur Veranschaulichung dieser Aussage wurden Studien zitiert, die den postulierten Effekt dieses Wissens auf das Lernen – beispielsweise durch den Nachweis niedrigerer Cortisolspiegel vor dem Schlafen als vor dem Wachbleiben – nahelegen sollten. Außerdem wurde behauptet, dass im zweiten Experiment am nächsten Morgen der Effekt von Schlaf bzw. Wachheit während der Nacht auf eine morgens durchzuführende Reaktionszeitaufgabe erforscht werde. Instruktionen zur Lösung der Reaktionszeitaufgabe würden noch am Abend erteilt und sollten bis zum nächsten Morgen gemerkt werden. Diese Coverstory sollte zunächst alle Versuchsteilnehmer von der Vorstellung überzeugen, dass im Rahmen der Studie tatsächlich zwei voneinander unabhängige Experimente durchgeführt werden. Dadurch sollte eine Ahnung der Probanden über den tatsächlichen Versuchsablauf – also die erneute Abfrage der abends gelernten Aufgaben am Morgen – in jedem Fall vermieden werden.

Nach Beendigung des Experimentes wurde im Abschlussfragebogen überprüft, ob die experimentelle Manipulation der Versuchsteilnehmer tatsächlich planmäßig funktioniert hatte. Dabei sollte jeder Proband der Gruppen 'ohne Intention' – folglich diejenigen, die am Abend nicht über eine zweite Abfrage morgens informiert worden waren – erklären, ob er sich trotz gegenteiliger Instruktion schon am Abend gedacht hatte, dass die gerade gelernten Aufgaben am Morgen erneut abgefragt werden. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass keiner der Probanden, welcher den Gruppen 'ohne Intention' zugeteilt war, eine Ahnung über die erneute Durchführung der Aufgaben morgens gehabt hatte. Ergebnisse derjenigen Probanden, die eine solche Ahnung im Abschlussfragebogen angaben, wurden nicht in die Prüfung der Hypothese 2 einbezogen, sondern diesbezüglich der Ausschlussgruppe 'Antizipation' zugeordnet.

Kritisch anzumerken ist, dass im Rahmen der vorliegenden Studie nicht ausreichend geprüft wurde, wie effektiv die Intentionsbildung der Gruppen 'mit Intention' nach den abendlichen Instruktionen war. Um diese Manipulation besser zu kontrollieren, hätte morgens eventuell in einem Fragebogen überprüft werden sollen, wie sehr den Probanden die erneute Abfrage der abends zuvor durchgeführten Tests bewusst ist und welche Bedeutung sie ihnen zumessen. Trotz dieser unzureichenden Überprüfung ist von einer erfolgreichen Intentionsbildung auszugehen. Denn eine parallel durchgeführte Studie, welche den Einfluss von Intention auf die schlafabhängige Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte untersucht, konnte hierfür einen statistisch signifikanten Effekt nachweisen. Da sich beide Studienarme desselben Probandengutes bedienen, kann daher von einer gelungenen Intentionsbildung der Probanden 'mit Intention' ausgegangen werden.

Nachdem in diesem Abschnitt die Kontrolle der experimentellen Manipulation dargestellt wurde, kann somit mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass die experimentelle Manipulation den beabsichtigten Effekt bei den Versuchspersonen hervorgerufen hat. Damit ist davon auszugehen, dass die – unerwartete – mangelnde Signifikanz der Studienergebnisse nicht auf einer fehlerhaften Durchführung der experimentellen Manipulation beruht.

Unterschiedlicher Einfluss des Faktors Intention auf prozedurales und deklaratives Gedächtnis

In diesem Abschnitt werden alternative Erklärungsansätze betrachtet, welche Gründe für den beobachteten nicht signifikanten Effekt des Faktors Intention auf die Konsolidierung prozeduraler Inhalte im Schlaf aufzeigen können.

Neben dem, in der vorliegenden Arbeit thematisierten, prozeduralen Gedächtnis wurde im Rahmen der Gesamtstudie auch die Wirkung des Faktors Intention auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung im Schlaf erforscht (Ergebnisse des deklarative System betreffend werden in einer anderen Arbeit beschrieben). Für das deklarative Gedächtnis ließ sich eine statistisch signifikante Leistungsverbesserung intentionaler Inhalte gegenüber nicht-intentionalen Inhalten durch schlafabhängige Konsolidierung nachweisen. Somit konnte die aufgestellte Hypothese, dass intentionale Inhalte mehr von schlafassoziiertes Konsolidierung profitieren als nicht-intentionale, zumindest für das deklarative System bestätigt werden.

Offenbar sind beide Gedächtnissysteme und die schlafabhängige Konsolidierung ihnen zugehöriger Informationen nicht in gleichem Maße durch den Faktor Intention beeinflussbar. Dieser Umstand beruht möglicherweise auf der unterschiedlichen Funktionsweise der beiden Gedächtnissysteme. Das deklarative System ist bei der Aufnahme und Verarbeitung neuer Informationen, welche dauerhaft in das Langzeitgedächtnis integriert werden sollen, in außerordentlichem Maß von der Leistung des Hippocampus bzw. medialen Temporallappensystems abhängig (Squire, 1992; Dudai, 2004). Als grundlegender Mechanismus der deklarativen Gedächtniskonsolidierung wird die unterschwellige Reaktivierung hippocampaler Zellensembles im Schlaf angesehen, welche einen koordinierten hippocampo-neocorticalen Informationstransfer in Gang setzt (Buzsáki, 1996; 1998; Gais und Born, 2004). Dabei werden neuronale Aktivitätsmuster, welche schon während des Lernprozesses im Wachzustand involviert waren, im Schlaf wiederholt aktiviert, was zu einer Festigung der neu erlernten Inhalte sowie zu deren Integration in bereits vorhandene Netzwerke führt (McClelland et al., 1995). Während initial überwiegend hippocampale Zellverbände als schnell aufnehmende, temporäre Speichereinheiten dienen, werden mit der Zeit zunehmend auch neocorticale Strukturen eingebunden. Dies wird als Ausdruck einer sukzessiven Verlagerung der Informationsspeicherung vom Hippocampus in den Neocortex, den endgültigen Speicherort des Langzeitgedächtnisses, verstanden (Buzsáki, 1996).

Demgegenüber sind die genauen Mechanismen der prozeduralen Gedächtniskonsolidierung bislang weitgehend unverstanden. Es wurde zwar eindrucksvoll belegt, dass Schlaf nach dem Lernvorgang die prozedurale Konsolidierung fördert oder sogar Bedingung dafür ist (Stickgold et al., 2000a, b; Walker et al., 2002), eine Beteiligung des Hippocampus an der Konsolidierung prozeduraler Inhalte – also ein dem hippocampo-neocorticalen Dialog deklarativer Inhalte entsprechender Vorgang – konnte allerdings über lange Zeit nicht festgestellt werden. Daher wird das prozedurale Gedächtnis in seiner Funktion bisher als weitgehend unabhängig von hippocampalen Strukturen angesehen (Gabrieli und Poldrack, 1997). Zwar scheinen neuesten Studien zufolge hippocampal-vermittelte Prozesse auch an der Konsolidierung prozeduraler Inhalte im Schlaf mitzuwirken (Spencer et al., 2006; Albouy et al., 2008), diese nehmen aber bei weitem nicht so eine grundlegende Rolle wie für das deklarative System ein. Die Tatsache, dass die Konsolidierung prozeduraler und deklarativer Gedächtnisinhalte nicht in gleichem Maß von der hippocampalen Funktion abhängt, könnte die in dieser Studie festgestellte, unterschiedliche Einflussnahme der Intention auf prozedurale und deklarative Inhalte erklären. Möglicherweise sind an der Vermittlung des Intentions-Effektes auf die Gedächtniskonsolidierung überwiegend hippocampale Strukturen beteiligt. Demnach hat die limitierte Beteiligung des Hippocampus an der Konsolidierung prozeduraler Inhalte zur Folge, dass Intention sich nicht in signifikantem Ausmaß auf das prozedurale Gedächtnis auswirkt.

Ausblick für zukünftige Arbeiten

Weiterführende Studien sollten untersuchen, ob eine veränderte Art der Aufgabenstellung – beispielsweise indem eine prozedurale Aufgabe verwendet wird, die stärker hippocampal-vermittelt verarbeitet wird – dazu führt, dass sich auch für das prozedurale Gedächtnissystem eine bevorzugte Konsolidierung intentionaler Inhalte im Schlaf nachweisen lässt.

6 Zusammenfassung

Studien der letzten Jahre belegen zweifellos, dass neu gelernte Gedächtnisinhalte durch vorrangig im Schlaf ablaufende Konsolidierungsprozesse gefestigt und dadurch besser erinnert werden. Mittlerweile geht man allerdings davon aus, dass der Schlaf nicht alle Gedächtnisinhalte gleichermaßen verstärkt, sondern dass bestimmte Inhalte privilegiert verarbeitet werden. Grundlage für die vorliegende Arbeit war die Annahme, dass neu gelernte Inhalte, welche für die persönliche Zukunft relevant sind (intentionale Inhalte), vermehrt der schlafabhängigen Konsolidierung zugänglich sind. Eine bessere Gedächtnisleistung für intentionale Inhalte im Vergleich zu nicht-intentionalen Inhalten konnte bislang nur für die kurzfristige Speicherung während eines Wachintervalls nachgewiesen werden.

In dieser Arbeit steht die prozedurale Gedächtnisbildung – getestet mittels Fingertapping-Aufgabe – im Mittelpunkt, während die Daten zur deklarativen Aufgabe aus derselben Studie in einer anderen Doktorarbeit dargestellt werden. Insgesamt wurden 99 gesunde, männliche und weibliche, Probanden untersucht. Sie wurden randomisiert vier Experimentalgruppen zugeordnet, die sich jeweils in Art des Retentionsintervalls (‘Schlaf/Wach’) und in Instruktion (‘mit/ohne Intention’) unterschieden. Die Intention wurde dadurch gebildet, dass die Gruppen ‘mit Intention’ nach dem Lernen der Aufgaben in Kenntnis darüber gesetzt wurden, dass diese morgens erneut durchzuführen sind. Diese Information wurde den Gruppen ‘ohne Intention’ vorenthalten.

Die Studienergebnisse ergaben eine verbesserte Gedächtnisleistung prozeduraler Inhalte nach Schlaf verglichen mit einem Wachintervall. Eine bevorzugte Konsolidierung intentionaler Inhalte im Schlaf konnte für das prozedurale System nicht nachgewiesen werden. Allerdings ließ sich diesbezüglich in der absoluten Leistung am Morgen eine statistische Tendenz erkennen. Für intentionale Inhalte des deklarativen Systems zeigte sich demgegenüber eine privilegierte Konsolidierung im Schlaf.

Der unterschiedlich ausgeprägte Einfluss des Faktors Intention auf die Gedächtnissysteme ist vermutlich auf die unterschiedliche Beteiligung relevanter Gedächtnisstrukturen zurückzuführen: Bekanntermaßen ist das deklarative Gedächtnis in hohem Maße hippocampus-abhängig, während sich das prozedurale Gedächtnis nur in geringem Maße auf hippocampale Strukturen bezieht. Unter der Annahme, dass die Vermittlung des Intentions-Effektes auf die schlafabhängige Konsolidierung vom Hippocampus abhängig

ist, lässt sich der gering ausgeprägte Intentions-Effekt auf die Konsolidierung prozeduraler Inhalte im Schlaf erklären.

7 Literaturverzeichnis

- Alvarez P, Zola-Morgan S, Squire LR: Damage limited to the hippocampal region produces long-lasting memory impairment in monkeys. *J Neurosci* 15, 3796–3807 (1995).
- Ambrosini MV, Giuditta A: Learning and sleep: The sequential hypothesis. *Sleep Med Rev* 5, 477–490 (2001).
- Aserinsky E, Kleitman N: Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science* 118, 273–274 (1953).
- Atienza M, Cantero JL, Stickgold R: Posttraining sleep enhances automaticity in perceptual discrimination. *J Cogn Neurosci* 16, 53–64 (2004).
- Atkinson RC, Shiffrin RM: Human memory: a proposed system and its control processes. In: Spence KW, Spence JT: *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 2, 89–195, New York: Academic Press (1968).
- Barrett TR, Ekstrand BR: Effect of sleep on memory: III. Controlling for time-of-day effects. *J Exp Psychol* 96, 321–327 (1972).
- Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. In: *Arch f Psychiatr.* 87, 527–570 (1929).
- Berger RJ, Phillips NH: Energy conservation and sleep. *Behav Brain Res* 69, 65–73 (1995).
- Bliss TV, Lomo T: Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J Physiol* 232, 331–356 (1973).
- Bliss TV, Collingridge GL: A synaptic model of memory: Long-term potentiation in the hippocampus. *Nature* 361, 31–39 (1993).
- Bolte A, Goschke T, Kuhl J: Emotion and intuition. *Psychol Sci* 14, 416–421 (2003).
- Born J, Rasch B, Gais S: Sleep to remember. *Neuroscientist* 12, 410–424 (2006).
- Brooks DN, Baddeley AD: What can amnesic patients learn? *Neuropsychologia* 14, 111–122 (1976).
- Buckner RL, Petersen SE, Ojemann JG, Miezin FM, Squire LR, Raichle ME: Functional anatomical studies of explicit and implicit memory retrieval tasks. *J Neurosci* 15, 12–29 (1995).
- Burwell RD, Saddoris MP, Bucci DJ, Wiig KA: Corticohippocampal contributions to spatial and contextual learning. *J Neurosci* 24, 3826–3836 (2004).

- Buzsáki G: The hippocampo-neocortical dialogue. *Cereb Cortex* 6, 81–92 (1996).
- Buzsáki G: Memory consolidation during sleep: A neurophysiological perspective. *J Sleep Res* 7, 17–23 (1998).
- Cahill L, McGaugh J: A novel demonstration of enhanced memory associated with emotional arousal. *Conscious Cogn* 4, 410–421 (1995).
- Chun MM, Phelps EA: Memory deficits for implicit contextual information in amnesic subjects with hippocampal damage. *Nat Neurosci* 2, 844–847 (1999).
- Cohen NJ, Squire LR: Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science* 210, 207–210 (1980).
- Cooke SF, Bliss TV: Plasticity in the human central nervous system. *Brain* 129, 1659–1673 (2006).
- Corkin S: Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal-lobe excision. *Neuropsychologia* 6, 255–265 (1968).
- Dement W, Kleitman N: Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 9, 673–690 (1957).
- Diekelmann S, Wilhelm I, Born J: The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Med Rev* [Epub ahead of print] (2009).
- Dotto L: Sleep stages, memory and learning. *CMAJ* 154, 1193–1196 (1996).
- Doyon J, Song AW, Karni A, Lalonde F, Adams MM, Ungerleider LG: Experience-dependent changes in cerebellar contributions to motor sequence learning. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 99, 1017–1022 (2002).
- Dudai Y: The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annu Rev Psychol* 55, 51–86 (2004).
- Eichenbaum H: A cortical-hippocampal system for declarative memory. *Nat Rev Neurosci* 1, 41–50 (2000).
- Ekstrand BR, Barrett TR, West JN, Maier WG: The effect of sleep on human long-term memory. In: Drucker-Colin RR, McGaugh JL: *Neurobiology of Sleep and Memory*. 419–438, New York: Academic Press (1977).
- Empson JA, Clarke PR: Rapid eye movements and remembering. *Nature* 227, 287–288 (1970).
- Fenn KM, Nusbaum HC, Margoliash D: Consolidation during sleep of perceptual learning of spoken language. *Nature* 425, 614–616 (2003).

- Fischer S, Born J: Anticipated reward enhances offline learning during sleep. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, in press (2009).
- Fischer S, Hallschmid M, Elsner AL, Born J: Sleep forms memory for finger skills. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99, 11987–11991 (2002).
- Fischer S, Nitschke MF, Melchert UH, Erdmann C, Born J: Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. *J Neurosci* 25, 11248–11255 (2005).
- Forkstam C, Petersson KM: Towards an explicit account of implicit learning. *Curr Opin Neurol* 8, 435–441 (2005).
- Fowler MJ, Sullivan MJ, Ekstrand BR: Sleep and memory. *Science* 179, 302–304 (1973).
- Frankland PW, Bontempi B: The organization of recent and remote memories. *Nat Rev Neurosci* 6, 119–130 (2005).
- Gaab N, Paetzold M, Becker M, Walker MP, Schlaug G: The influence of sleep on auditory learning: A behavioral study. *Neuroreport* 15, 731–734 (2004).
- Gabrieli JD, Corkin S, Mickel SF, Growdon JH: Intact acquisition and long-term retention of mirror-tracing skill in Alzheimer's disease and in global amnesia. *Behav Neurosci* 107, 899–910 (1993).
- Gabrieli JD, Milberg W, Keane MM, Corkin S: Intact priming of patterns despite impaired memory. *Neuropsychologia* 28, 417–427 (1990).
- Gabrieli JD: Cognitive neuroscience of human memory. *Annu Rev Psychol* 49, 87–115 (1998).
- Gais S, Born J. Declarative memory consolidation: mechanisms acting during human sleep. *Learn Mem* 11, 679–685 (2004).
- Gais S, Lucas B, Born J. Sleep after learning aids memory recall. *Learn Mem* 13, 259–262 (2006).
- Gais S, Plihal W, Wagner U, Born J: Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat Neurosci* 3, 1335–1339 (2000).
- Gais S, Albouy G, Boly M, Dang-Vu TT, Darsaud A, Desseilles M, Rauchs G, Schabus M, Sterpenich V, Vandewalle G, Maquet P, Peigneux P: Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. *Proc Natl Acad Sci U S A* 104, 18778–18783 (2007).
- Giuditta A, Ambrosini MV, Montagnese P, Mandile P, Cotugno M, Grassi Zucconi G, Vescia S: The sequential hypothesis of the function of sleep. *Behav Brain Res* 69, 157–166 (1995).
- Gold JJ, Squire LR: The anatomy of amnesia: Neurohistological analysis of three new cases. *Learn Mem* 13, 699–710 (2006).

- Goschke T, Kuhl J: Representations of Intentions: Persisting activation in memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 19, 1211–1226 (1993).
- Graf P, Schacter DL: Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 11, 501–518 (1985).
- Haist F, Musen G, Squire LR: Intact priming of words and nonwords in amnesia. *Psychobiol* 19, 275–285 (1991).
- Hasselmo ME: Neuromodulation: Acetylcholine and memory consolidation. *Trends Cogn Sci* 3, 351–359 (1999).
- Heindel WC, Salmon DP, Shults CW, Walicke PA, Butters N: Neuropsychological evidence for multiple implicit memory systems: A comparison of Alzheimer's, Huntington's, and Parkinson's disease patients. *J Neurosci* 9, 582–587 (1989).
- Hoddes E, Zarcone V, Dement WC: Development and use of Stanford Sleepiness scale (SSS). *Psychophysiology* 10, 431–436 (1972).
- Hoddes E, Zarcone VP, Smythe H: Quantification of sleepiness: A new approach. *Psychophysiology* 10, 431–436 (1973).
- Horne JA, McGrath MJ: The consolidation hypothesis for REM sleep function: Stress and other confounding factors - a review. *Biol Psychol* 18, 165–184 (1984).
- Horne JA: Sleep function, with particular reference to sleep deprivation. *Ann Clin Res* 17, 199–208 (1985).
- Horne JA: REM sleep - by default? *Neurosci Biobehav Rev* 24, 777–797 (2000).
- Hu P, Stylos-Allan M, Walker MP: Sleep facilitates consolidation of emotional declarative memory. *Psychol Sci* 17, 891–898 (2006).
- Idzikowski C: Sleep and memory. *Br J Psychol* 75, 439–449 (1984).
- Inoué S, Honda K, Komoda Y: Sleep as neuronal detoxification and restitution. *Behav Brain Res* 69, 91–96 (1995).
- Jasper HH: The ten-twenty electrode system of the International Federation. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 10, 371–375 (1958).
- Jenkins JG, Dallenbach KM: Obliviscence during sleep and waking. *Am J Psychol* 35, 605–612 (1924).
- Jouvet M, Michel F, Courjon J: On a stage of rapid cerebral electrical activity in the course of physiological sleep. *C R Seances Soc Biol Fil* 153, 1024–1028 (1959).
- Karni A, Tanne D, Rubenstein BS, Askenasy JJ, Sagi D: Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science* 265, 679–682 (1994).

- Knowlton BJ, Mangels JA, Squire LR: A neostriatal habit learning system in humans. *Science* 273, 1399–1402 (1996).
- Knowlton BJ, Thompson RF: Conditioning using a cerebral cortical conditioned stimulus is dependent on the cerebellum and brain stem circuitry. *Behav Neurosci* 106, 509–517 (1992).
- Korman M, Raz N, Flash T, Karni A: Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100, 12492–12497 (2003).
- Korman M, Doyon J, Doljansky J, Carrier J, Dagan Y, Karni A: Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nat Neurosci* 10, 1206–1213 (2007).
- Krakauer JW, Shadmehr R: Consolidation of motor memory. *Trends Neurosci* 29, 58–64 (2006).
- Kuriyama K, Stickgold R, Walker MP: Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learn Mem* 11, 705–713 (2004).
- Lahl O, Wispel C, Willigens B, Pietrowsky R: An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *J Sleep Res* 17, 3–10 (2008).
- Lee AK, Wilson MA: Memory of sequential experience in the hippocampus during slow wave sleep. *Neuron* 36, 1183–1194 (2002).
- Lefrancois GR: *Psychologie des Lernens*. 3. Aufl., 3–11, Springer-Verlag, Berlin (1994).
- Loomis AL, Harvey EN, Hobart GA: Cerebral states during sleep, as studied by human brain potentials. *J Exp Psychol* 21, 127–144 (1937).
- Louie K, Wilson MA: Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron* 29, 145–156 (2001).
- Lovatt DJ, Warr PB: Recall after Sleep. *Am J Psychol* 81, 253–257 (1968).
- Maquet P, Laureys S, Peigneux P, Fuchs S, Petiau C, Phillips C, Aerts J, Del Fiore G, Degueldre C, Meulemans T, Luxen A, Franck G, Van Der Linden M, Smith C, Cleeremans A: Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nat Neurosci* 3, 831–836 (2000).
- Maquet P: The role of sleep in learning and memory. *Science* 294, 1048–1052 (2001).
- Maquet P, Peigneux P, Laureys S, Boly M, Dang-Vu T, Deseilles M, Cleeremans A: Memory processing during human sleep as assessed by functional neuroimaging. *Rev Neurol (Paris)* 159, 6S27–29 (2003).
- Marr D: Simple memory: A theory for archicortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 262, 23–81 (1971).

- Marshall L, Born J: The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation. *Trends Cogn Sci*. 11, 442–450 (2007).
- McClelland JL, McNaughton BL, O'Reilly RC: Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychol Rev* 102, 419–457 (1995).
- McGaugh JL: Memory - a century of consolidation. *Science* 287, 248–251 (2000).
- McGinty D, Szymusiak R: Keeping cool: A hypothesis about the mechanisms and functions of slow-wave sleep. *Trends Neurosci* 13, 480–487 (1990).
- Milner B, Corkin S, Teuber HL: Further analysis of hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia* 6, 215–234 (1968).
- Mölle M, Marshall L, Gais S, Born J: Learning increases human electroencephalographic coherence during subsequent slow sleep oscillations. *Proc Natl Acad Sci U S A* 101, 13963–13968 (2004).
- Morris JS, Ohman A, Dolan RJ: Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature* 393, 467–470 (1998).
- Morris RG, Moser EI, Riedel G, Martin SJ, Sandin J, Day M, O'Carroll C. Elements of a neurobiological theory of the hippocampus: The role of activity-dependent synaptic plasticity in memory. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 358, 773–786 (2003).
- Müller GE, Pilzecker A: Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Z Psychol Ergänzungsband* 1, 1–300 (1900).
- Nádasy Z, Hirase H, Czurkó A, Csicsvari J, Buzsáki G: Replay and time compression of recurring spike sequences in the hippocampus. *J Neurosci* 19, 9497–9507 (1999).
- Nesca M, Koulack D: Recognition memory, sleep and circadian rhythms. *Can J Exp Psychol* 48, 359–379 (1994).
- Pavrides C, Winson J: Influences of hippocampal place cell firing in the awake state on the activity of these cells during subsequent sleep episodes. *J Neurosci* 9, 2907–2918 (1989).
- Pavlov IP: *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. London: Oxford University Press (1927).
- Peigneux P, Laureys S, Delbeuck X, Maquet P: Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport* 12, A111–124 (2001).
- Peigneux P, Laureys S, Fuchs S, Destrebecqz A, Collette F, Delbeuck X, Phillips C, Aerts J, Del Fiore G, Degueldre C, Luxen A, Cleeremans A, Maquet P: Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep. *Neuroimage* 20, 125–134 (2003).

- Peigneux P, Laureys S, Fuchs S, Collette F, Perrin F, Reggers J, Phillips C, Degueldre C, Del Fiore G, Aerts J, Luxen A, Maquet P: Are spatial memories strengthened in the human hippocampus during slow wave sleep? *Neuron* 44, 535–545 (2004).
- Plihal W, Born J: Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J Cogn Neurosci* 9, 534–547 (1997).
- Plihal W, Born J: Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophysiology* 36, 571–582 (1999).
- Poe GR, Nitz DA, McNaughton BL, Barnes CA: Experience-dependent phase-reversal of hippocampal neuron firing during REM sleep. *Brain Res* 855, 176–180 (2000).
- Poldrack RA, Gabrieli JD: Functional anatomy of long-term memory. *J Clin Neurophysiol* 14, 294–310 (1997).
- Poldrack RA, Prabhakaran V, Seger CA, Gabrieli JD: Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology* 13, 564–574 (1999).
- Poldrack RA, Clark J, Paré-Blagoev EJ, Shohamy D, Crespo Moyano J, Myers C, Gluck MA: Interactive memory systems in the human brain. *Nature* 414, 546–550 (2001).
- Qin YL, McNaughton BL, Skaggs WE, Barnes CA: Memory reprocessing in corticocortical and hippocampocortical neuronal ensembles. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 352, 1525–1533 (1997).
- Rasch B, Born J: Maintaining memories by reactivation. *Curr Opin Neurobiol* 17, 698–703 (2007).
- Rasch B, Büchel C, Gais S, Born J: Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science* 315, 1426–1429 (2007).
- Rauchs G, Bertran F, Guillery-Girard B, Desgranges B, Kerrouche N, Denise P, Foret J, Eustache F: Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep. *Sleep* 27, 395–401 (2004).
- Rauchs G, Desgranges B, Foret J, Eustache F: The relationships between memory systems and sleep stages. *J Sleep Res* 14, 123–140 (2005).
- Rechtschaffen A, Kales A (Hrsg.): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. National Institute of Health Publications 204, US Government Printing Office, Washington DC (1968).
- Reed JM, Squire LR: Retrograde amnesia for facts and events: Findings from four new cases. *J Neurosci* 18, 3943–3954 (1998).
- Remondes M, Schuman EM: Role for a cortical input to hippocampal area CA1 in the consolidation of a long-term memory. *Nature* 431, 699–703 (2004).

- Rempel-Clower NL, Zola SM, Squire LR, Amaral DG: Three cases of enduring memory impairment after bilateral damage limited to the hippocampal formation. *J Neurosci* 16, 5233–5255 (1996).
- Ribeiro S, Gervasoni D, Soares ES, Zhou Y, Lin SC, Pantoja J, Lavine M, Nicolelis MA: Long-lasting novelty-induced neuronal reverberation during slow-wave sleep in multiple forebrain areas. *PLoS Biol* 2, 126–137 (2004).
- Robertson EM, Pascual-Leone A, Press DZ: Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. *Curr Biol* 14, 208–212 (2004).
- Sagar HJ, Cohen NJ, Corkin S, Growdon JH: Dissociations among processes in remote memory. *Ann New York Acad Sci* 444, 533–535 (1985).
- Saint-Cyr JA, Taylor AE, Lang AE: Procedural learning and neostriatal dysfunction in man. *Brain* 111, 941–959 (1988).
- Schacter DL, Alpert NM, Savage CR, Rauch SL, Albert MS: Conscious recollection and the human hippocampal formation: Evidence from positron emission tomography. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93, 321–325 (1996).
- Schacter DL: Implicit memory: History and current status. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 13, 501–518 (1987).
- Schendan HE, Searl MM, Melrose RJ, Stern CE: An FMRI study of the role of the medial temporal lobe in implicit and explicit sequence learning. *Neuron* 37, 1013–1025 (2003).
- Scoville WB, Milner B: Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 20, 11–21 (1957).
- Shadmehr R, Holcomb HH: Neural correlates of motor memory consolidation. *Science* 277, 821–825 (1997).
- Shanks DR, St John MF: Characteristics of dissociable human learning systems. *Behav Brain Sci* 17, 367–395 (1994).
- Sharot T, Verfaellie M, Yonelinas AP: How emotion strengthens the recollective experience: A time-dependent hippocampal process. *PLoS ONE* 2, e1068 (2007).
- Shen J, Kudrimoti HS, McNaughton BL, Barnes CA: Reactivation of neuronal ensembles in hippocampal dentate gyrus during sleep after spatial experience. *J Sleep Res* 7, 6–16 (1998).
- Siegel JM: The REM sleep-memory consolidation hypothesis. *Science* 294, 1058–1063 (2001).
- Siegel JM: Clues to the functions of mammalian sleep. *Nature* 437, 1264–1271 (2005).
- Skaggs WE, McNaughton BL: Replay of neuronal firing sequences in rat hippocampus during sleep following spatial experience. *Science* 271, 1870–1873 (1996).

- Smith C, MacNeill C: Impaired motor memory for a pursuit rotor task following Stage 2 sleep loss in college students. *J Sleep Res* 3, 206–213 (1994).
- Smith C: Sleep states and memory processes. *Behav Brain Res* 69, 137–145 (1995).
- Smith C: Sleep states and memory processes in humans: Procedural versus declarative memory systems. *Sleep Med Rev* 5, 491–506 (2001).
- Spencer RM, Sunm M, Ivry RB: Sleep-dependent consolidation of contextual learning. *Curr Biol* 16, 1001–1005 (2006).
- Squire LR, Zola-Morgan S: Memory: Brain systems and behaviour. *Trends Neurosci* 11, 170–175 (1988).
- Squire LR, Frambach M: Cognitive skill learning in amnesia. *Psychobiology* 18, 109–117 (1990).
- Squire LR, Zola-Morgan S: The medial temporal lobe memory system. *Science* 253, 1380–1386 (1991).
- Squire LR: Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev* 99, 195–231 (1992).
- Squire LR, Knowlton B, Musen G: The structure and organization of memory. *Annu Rev Psychol* 44, 453–495 (1993).
- Squire LR, Alvarez P: Retrograde amnesia and memory consolidation: A neurobiological perspective. *Curr Opin Neurobiol* 5, 169–177 (1995).
- Squire LR, Zola SM: Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93, 13515–13522 (1996).
- Steriade M, Nuñez A, Amzica F: A novel slow (< 1 Hz) oscillation of neocortical neurons in vivo: Depolarizing and hyperpolarizing components. *J Neurosci* 13, 3252–3265 (1993).
- Steyer R, Schwenkmezger P, Notz P, Eid M: Testtheoretische Analysen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF). *Diagnostica* 40, 320–328 (1994).
- Steyer R, Schwenkmezger P, Notz P, Eid M: Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Handanweisung. Göttingen, Hogrefe (1997).
- Stickgold R, James L, Hobson JA: Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nat Neurosci* 3, 1237–1238 (2000a).
- Stickgold R, Whidbee D, Schirmer B, Patel V, Hobson JA: Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *J Cogn Neurosci* 12, 246–254 (2000b).

- Sutherland GR, McNaughton B: Memory trace reactivation in hippocampal and neocortical neuronal ensembles. *Curr Opin Neurobiol* 10, 180–186 (2000).
- Sweatt JD: Toward a molecular explanation for long-term potentiation. *Learn Mem* 6, 399–416 (1999).
- Tilley AJ, Empson JA: REM sleep and memory consolidation. *Biol Psychol* 6, 293–300 (1978).
- Tulving E: Episodic and semantic memory. In: Tulving E, Donaldson W: *Organization of memory*. 381–403, New York: Academic Press (1972).
- Tulving E, Schacter DL: Priming and human memory systems. *Science* 247, 301–306 (1990).
- Ungerleider LG, Doyon J, Karni A: Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiol Learn Mem* 78, 553–564 (2002).
- Van Ormer EB: Sleep and retention. *Psychol Bull* 30, 415–439 (1933).
- Vertes RP, Eastman KE: The case against memory consolidation in REM sleep. *Behav Brain Sci* 23, 867–876 (2000).
- Wagner U, Gais S, Born J: Emotional memory formation is enhanced across sleep intervals with high amounts of rapid eye movement sleep. *Learn Mem* 8, 112–119 (2001).
- Walker MP, Brakefield T, Morgan A, Hobson JA, Stickgold R: Practice with sleep makes perfect: Sleep-dependent motor skill learning. *Neuron* 35, 205–211 (2002).
- Walker MP, Brakefield T, Hobson JA, Stickgold R: Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature* 425, 616–620 (2003a).
- Walker MP, Brakefield T, Seidman J, Morgan A, Hobson JA, Stickgold R: Sleep and the time course of motor skill learning. *Learn Mem* 10, 275–284 (2003b).
- Walker MP, Stickgold R: Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron* 44, 121–133 (2004).
- Walker MP, Stickgold R, Alsop D, Gaab N, Schlaug G: Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. *Neuroscience* 133, 911–917 (2005).
- Walker MP, Stickgold R: Sleep, memory, and plasticity. *Annu Rev Psychol* 57, 139–166 (2006).
- Wallenstein GV, Eichenbaum H, Hasselmo ME: The hippocampus as an associator of discontinuous events. *Trends Neurosci* 21, 317–323 (1998).
- Wilson MA, McNaughton BL: Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science* 265, 676–679 (1994).

- Yaroush R, Sullivan MJ, Ekstrand BR: Effect of sleep on memory: II. Differential effect of the first and second half of the night. *J Exp Psychol* 88, 361–366 (1971).
- Zola-Morgan S, Squire LR. Preserved learning in monkeys with medial temporal lesions: Sparing of motor and cognitive skills. *J Neurosci* 4, 1072–1085 (1984).
- Zola-Morgan S, Squire LR: Amnesia in monkeys after lesions of the mediodorsal nucleus of the thalamus. *Ann Neurol* 17, 558–564 (1985).
- Zola-Morgan SM, Squire LR: The primate hippocampal formation: Evidence for a time-limited role in memory storage. *Science* 250, 288–290 (1990).

Anhang A – Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abbildung 1.** Schematische Einteilung des Langzeitgedächtnisses (modifiziert nach Squire und Zola, 1996). Das LZG wird unterteilt in deklaratives und non-deklaratives Gedächtnis. Dem deklarativen Gedächtnis wiederum werden die Subsysteme episodisches und semantisches Gedächtnis zugeordnet. Das non-deklarative Gedächtnis besteht aus dem prozeduralen Gedächtnis, klassischer Konditionierung, Priming und non-assoziativem Lernen. 8
- Abbildung 2.** Schematische Darstellung des hippocampo-neocorticalen Modells der systemischen Gedächtniskonsolidierung (modifiziert nach Frankland und Bontempi, 2005). Diese Graphik veranschaulicht die neuronalen Prozesse, die der systemischen Gedächtniskonsolidierung zugrunde liegen. Auf einen Lernvorgang folgend liegen die erlernten Inhalte zunächst im Hippocampus vor. Neuronale Reaktivierungen der am Lernvorgang beteiligten Zellverbände im Hippocampus führen zu einer verstärkten Einbindung des Neocortex. Mit der Zeit sind die erlernten Inhalte nicht mehr auf den Hippocampus angewiesen, sondern sind als Inhalte des LZG im Neocortex gespeichert. 12
- Abbildung 3.** Hypnogramm (Schlafprofil eines Studienteilnehmers). Die Grafik gibt den typischen Schlafverlauf eines Probanden über die Nacht wieder. Dabei werden die Schlafphasen S 1–4 (wovon S 3–4 den SWS-Schlaf darstellen) und die REM-Schlafphase (fett hervorgehoben) unterschieden. W steht für die initiale Wachphase, M (movement arousals) für Phasen mit überwiegenden Bewegungsartefakten. 15
- Abbildung 4.** Anordnung der Elektroden für die Polysomnographie. Die Elektroden 1 und 2 leiten das EEG ab, die Elektroden 3 und 4 das EOG, die Elektroden 5 und 6 stehen für das EMG. Elektrode 7 ist die Referenz für die EEG-Elektroden, Elektrode 8 dient als Erdung. 23
- Abbildung 5.** Schematischer Ablaufplan des Versuchs. 24
- Abbildung 6.** Beispielhafter Bildschirmausschnitt der Fingertapping-Aufgabe. Links ist die Ausgangssituation dargestellt bevor der Proband Zahlen auf der Computertastatur eingegeben hat. Rechts stellt die Situation dar, in der der Proband schon drei Zahlen auf der Tastatur eingegeben hat. Für jede eingegebene Zahl erscheint über der vorgegebenen Zahl ein Stern. 29
- Abbildung 7.** Vergleich der Ergebnisse der Lern- und Abfragephase je Experimentalgruppe als Balkendiagramm. 36

Tabellen

Tabelle 1. Tabellarischer Ablaufplan des Versuchs	27
Tabelle 2. Geschlechterverteilung und Probandenanzahl je Experimental-/ Ausschlussgruppe	33
Tabelle 3. Absolute Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe abends	33
Tabelle 4. Absolute Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe morgens	34
Tabelle 5. Absolute Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen in der Fingertapping-Aufgabe	35
Tabelle 6. Vergleich der Experimentalgruppen ‘Schlaf mit Intention’ und ‘Schlaf ohne Intention’	37
Tabelle 7. Vergleich der Experimentalgruppen ‘Wach mit Intention’ und ‘Wach ohne Intention’	38
Tabelle 8. Absolute Differenz zwischen abendlicher und morgendlicher Anzahl korrekter Sequenzen der Gruppen ‘mit Intention’, ‘ohne Intention’ und ‘Antizipation’	39
Tabelle 9. Schlafparameter des nächtlichen Retentionsschlafes	41
Tabelle 10. MDBF am Abend vor der Lernphase	42
Tabelle 11. MDBF am Morgen vor der Abrufphase	43
Tabelle 12. SSS am Abend und am Morgen im Vergleich	44

Anlage B – Instruktionen

Instruktion Teil 1

„In dieser Studie werden Sie zwei unterschiedliche voneinander unabhängige Experimente durchführen. Zum einen geht es um den Einfluss des Wissens um eine bevorstehende Schlaf- bzw. Wachnacht auf das Lernen von Gedächtnistests. Bislang wurde immer geglaubt, dass Schlaf eine besondere Bedeutung für die Gedächtnisbildung hat. Es gibt allerdings neuerdings die Hypothese, dass gar nicht der Schlaf an sich das Gedächtnis verstärkt, sondern dass allein das Wissen darum, ob man nach dem Lernen schlafen kann oder wach bleiben muss, die Gedächtnisbildung beeinflusst. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass dieses Wissen das Lernen möglicherweise entscheidend beeinflusst, z.B. sind die Cortisolspiegel vorm Schlafen bereits viel niedriger als vorm Wachbleiben. Daher werden Sie in dem ersten Experiment vor dem Schlafen gehen bzw. Wachbleiben zwei unterschiedliche Gedächtnisaufgaben lernen. Direkt im Anschluss daran wird die Lernleistung getestet.

Bei dem zweiten Experiment geht es um den Einfluss von Schlaf bzw. Wachbleiben auf das Lösen einer Reaktionszeitaufgabe. Sie erhalten abends die Instruktion für eine Aufgabe, in der so schnell wie möglich auf bestimmte Wörter reagiert werden muss. Diese Aufgabe müssen Sie sich merken und dann am Morgen durchführen.“

Instruktion Teil 2; Version A ('mit Intention') und B ('ohne Intention')

Version A ('mit Intention'):

„Da wir uns auch für den Einfluss auf die Langzeitgedächtnisbildung interessieren, müssen Sie die gelernten Inhalte nochmals am nächsten Morgen erinnern. Außerdem werden Sie am nächsten Morgen Reaktionszeitaufgaben lösen. Innerhalb einer einfachen Computeraufgabe, die ich Ihnen morgen erkläre, taucht immer wieder ganz plötzlich der Name von Tieren und der Name von Kleidungsstücken auf. Wenn Sie den Namen eines Tieres entdecken, drücken Sie bitte so schnell wie möglich die F1-Taste auf der Computertastatur. Wenn Sie den Namen eines Kleidungsstückes entdecken, dann drücken Sie bitte so schnell wie möglich die F8-Taste. Merken Sie sich das bitte gut, da ich Sie morgen nicht mehr daran erinnern werde.“

Version B ('ohne Intention'):

„Am nächsten Morgen werden Sie Reaktionszeitaufgaben lösen. Innerhalb einer einfachen Computeraufgabe, die ich Ihnen morgen erkläre, taucht immer wieder ganz plötzlich der Name von Tieren und der Name von Kleidungsstücken auf. Wenn Sie den Namen eines Tieres entdecken, drücken Sie bitte so schnell wie möglich die F1-Taste auf der Computertastatur. Wenn Sie den Namen eines Kleidungsstückes entdecken, dann drücken Sie bitte so schnell wie möglich die F8-Taste. Merken Sie sich das bitte gut, da ich Sie morgen nicht mehr daran erinnern werde.“

Anlage C – Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen (MDBF-Kurzform A)

MDBF

Code/ Name:

Datum: Alter: Jahre

Geschlecht: w m

Instruktion

Im folgenden finden Sie eine **Liste von Wörtern, die verschiedene Stimmungen beschreiben**.

Bitte gehen Sie die Wörter der Liste nacheinander durch und kreuzen Sie bei **jedem Wort** das Kästchen an, das die **augenblickliche** Stärke Ihrer Stimmung am besten beschreibt.

Ein Beispiel:

Im Moment fühle ich mich

überhaupt nicht sehr

1 2 3 4 5

wohl

Angenommen, Sie würden sich momentan äußerst wohl fühlen, dann würden Sie den Kreis unter Ziffer 5 ankreuzen

Im Moment fühle ich mich

überhaupt nicht sehr

1 2 3 4 5

wohl

Bitte beachten Sie dabei folgende Punkte:

- In der Liste sind mehrere Adjektive enthalten, die möglicherweise dieselbe oder eine ähnliche Stimmung beschreiben. Lassen Sie sich dadurch nicht verwirren, und **geben Sie Ihre Antwort bei jedem Adjektiv unabhängig davon, wie Sie bei einem anderen Adjektiv geantwortet haben.**
- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich **augenblicklich** fühlen, nicht wie Sie sich im allgemeinen oder gelegentlich fühlen.
- Wenn Ihnen die Antwort schwerfallen sollte, geben Sie die Antwort, die am **ehesten** zutrifft.

Geben Sie bitte bei **jedem** Wort ein Urteil ab und lassen Sie keines der Wörter aus.

MDBF-Kurzform A

Datum und Uhrzeit

Im Moment fühle ich mich	überhaupt nicht					sehr
	1	2	3	4	5	
1. zufrieden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
2. ausgeruht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
3. ruhelos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
4. schlecht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
5. schlapp	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
6. gelassen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
7. müde	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
8. gut	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
9. unruhig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
10. munter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
11. unwohl	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
12. entspannt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

GS

WM

RU

Anlage D – Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS)

Stanford Schläfrigkeitsskala

Proband:

Bedingung:

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

Anlage E – Abschlussfragebogen

Vp.nr. _____ Gruppe _____

Lieber Proband,

vielen Dank für Deine Teilnahme an unserem Experiment. Für das Gelingen dieses Experimentes ist es besonders wichtig, dass Du Niemandem (der sich evtl. für eine Teilnahme an diesem Experiment interessieren könnte) von den Inhalten bzw. den Instruktionen erzählest.
Abschließend bitten wir Dich, die folgenden Fragen ehrlich zu beantworten.

1.) Wenn Du **wach** geblieben bist:

Hast Du Dir vor Deiner Nacht im Schlaflabor gedacht, dass Du wach bleiben musst?

Ja

Nein

Wenn ja, wie sicher warst Du Dir?

sehr sicher

relativ sicher

eher unsicher

Hast Du in der Nacht über die Wortpaare nachgedacht bzw. sind Dir einige spontan eingefallen?

häufig

relativ häufig

selten

gar nicht

Wenn Du **geschlafen** hast:

Hast Du Dir vor Deiner Nacht im Schlaflabor gedacht, dass Du schlafen kannst?

Ja

Nein

Wenn ja, wie sicher warst Du Dir?

sehr sicher

relativ sicher

eher unsicher

2.) Wenn Du die Instruktion erhalten hast, dass Du die gelernten Inhalte **nicht mehr erinnern** musst:

Hast Du Dir trotzdem nach dem Lernen gedacht, dass Du die Aufgaben am nächsten Morgen noch mal durchführen musst?

Ja

Nein

Wenn ja, wie sicher warst Du Dir?

sehr sicher

relativ sicher

eher unsicher

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Jan Born für die Bereitstellung des Promotionsthemas und der Räumlichkeiten des Institutes für die Durchführung der praktischen Versuche danken. Besonders durch die kollegiale, gute Atmosphäre zwischen wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden hat das Arbeiten dort Spaß gemacht.

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei Ines Wilhelm für die außerordentlich gute Betreuung, die Hilfe bei der statistischen Auswertung und das unermüdliche Beantworten meiner Fragen bedanken. Ich danke auch für die rasche und konstruktive Korrektur der vielen Fassungen meiner Doktorarbeit.

Weiterhin danke ich Ines Wilhelm und Susanne Diekelmann für die tatkräftige Unterstützung und praktische Anleitung bei den ersten Versuchen im Schlaflabor.

Meiner Kollegin bei der Durchführung der praktischen Versuche im Schlaflabor, Julia Niederquell, danke ich für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit.

Ohne meinen Bruder, Andreas Schlüter, der mich oft motiviert und beraten hat, wäre diese Arbeit nicht in dieser Form entstanden. Danke für dein kritisches Korrekturlesen und die anregenden Diskussionen.

Meinen Eltern, Barbara und Detlef Schlüter, danke ich für die aufrichtige vorbehaltlose Unterstützung während meines Studiums. Ihnen und meiner Großtante, Ilse Fischbein, danke ich für die großzügige Unterstützung meiner Studienzeit.

Lebenslauf

Isabelle Maria Schlüter

geboren am 15. 08.1981
in Braunschweig

Ausbildung

10/2001 – 06/2008

09/2003

10/2004 – 07/2005

06/2008

07/2008

Studium der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck

Erste Ärztliche Prüfung

Studienaufenthalt im Rahmen des ERASMUS-Programms
der EU an der Universidad de Murcia, Spanien

Zweite Ärztliche Prüfung

Approbation als Ärztin

08/1988 – 06/2001

06/2001

Schulische Ausbildung in Hannover

Abitur an der Sophienschule

Promotion

06/2006 – 01/2010

Einfluss von Intention auf die schlafassoziierte Konsolidierung
prozeduraler Gedächtnisinhalte; Institut für Neuroendokrinologie
der Universität zu Lübeck

Klinische Ausbildung

Seit 04/2009

tätig als Assistenzärztin für Innere Medizin an der Raphaelsklinik
in Münster

02/2007 – 01/2008

Praktisches Jahr

Innere Medizin; Rheumaklinik Bad Bramstedt

Pädiatrie; Sana Kliniken Ostholstein, Klinik Eutin

Abdominal- und Unfallchirurgie; UKSH, Campus Lübeck

08/2006

Famulatur – Gynäkologie und Geburtshilfe

Hospital General de Campeche “Dr. Alvaro Vidal Vera”, Mexico

02/2006 – 03/2006

Famulatur – Innere Medizin und Geriatrie

Krankenhaus Rotes Kreuz Lübeck

09/2005

Famulatur – Allgemeinmedizin

Praxis Dres. Goesmann und Zwickert, Hannover

07/2005 – 08/2005

Famulatur – Anästhesiologie

Klinikum Hannover

08/2004

Famulatur – Allgemeinmedizin und spezielle Schmerzmedizin

Praxis Dres. Tamm, Schröter, Albert; Hannover