

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

---

**Der Einfluss von Schlaf auf False Memories in Abhängigkeit von der  
individuellen Gedächtnisleistung**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

Der Universität zu Lübeck

-Aus der Medizinischen Fakultät-

vorgelegt von

Alice Speidel

aus Ulm

Lübeck 2010

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Jan Born

2. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Rolf Verleger

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2011

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 24.01.2011

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	5
<b>1. Einleitung – Theoretischer Hintergrund .....</b>	<b>6</b>
1.1. Schlaf .....	6
1.1.1. Schlafstadien .....	7
1.1.2. Schlaf im Verlauf der Nacht .....	8
1.1.3. Schlafdeprivation .....	9
1.2. Gedächtnissysteme .....	10
1.2.1. Deklaratives und prozedurales Gedächtnis .....	10
1.2.2. Kurz- und Langzeitgedächtnis .....	12
1.3. Die Gedächtniskonsolidierung .....	13
1.3.1. Mechanismen und Funktionen .....	13
1.3.2. False Memories .....	16
1.4. Schlaf und Gedächtnis .....	21
1.4.1. Auswirkungen vom Lernen auf den Schlaf .....	21
1.4.2. Auswirkungen von Schlaf auf das Gedächtnis .....	22
1.4.3. Auswirkungen von Schlafdeprivation .....	24
1.4.4. Schlaf und False Memories .....	26
1.5. Fragestellung und Hypothese .....	27
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>28</b>
2.1. Versuchspersonen .....	28
2.2. Versuchsdesign .....	29
2.3. Versuchsablauf .....	30
2.4. Aufgaben .....	33
2.4.1. Hauptaufgaben .....	33
2.4.2. Kontrollvariablen .....	33
2.4.3. Schlafableitungen .....	35
2.5. Statistische Auswertung .....	35

<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>36</b>
	3.1. Die abhängigen Variablen.....	36
	3.1.1. Free Recall.....	37
	3.1.2. Kontrollvariablen.....	40
	3.2. Schlafparameter.....	43
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>44</b>
	4.1. Beantwortung der Fragestellung.....	44
	4.2. Diskussion der Einzelbefunde.....	45
	4.3. Mechanismen von False Memories, Schlaf und Schlafdeprivation.....	49
	4.4. Schwachpunkte der Studie und Alternativerklärungen.....	51
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>55</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>69</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf</b> .....	<b>69</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
EEG	Elektroenzephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
ERP	Event Related Potentials
Kap.	Kapitel
M	Movement Arousal
MTL	Medialer Temporallappen
NREM	Non-rapid-eye-movement
NW-G	Nachwach-Gruppe
OSAS	Obstruktives Schlaf-Apnoe-Syndrom
REM	Rapid-eye-movement
RWT	Regensburger-Wortflüssigkeitstest
S-G	Schlaf-Gruppe
SSS	Stanford-Schläfrigkeitsskala
S1-S4	Schlafstadium 1-4
Tab.	Tabelle
TW-G	Tagwach-Gruppe
W	Wachzustand

# **1. Einleitung - Theoretischer Hintergrund**

Es ist allgemein bekannt, dass die Funktion von Schlaf darin besteht, den Körper in einem homöostatischen Prozess während der Nacht zu regenerieren. Bei Schlafmangel kommt es automatisch zu Schläfrigkeit und „Nachholen“ des versäumten Schlafes, was darauf hinweist, dass der Schlaf eine besondere Bedeutung für den Körper hat. Daneben haben aktuelle Studien erwiesen, dass der Schlaf aber auch besonders wichtig für die Gedächtnisbildung und Umstrukturierung von Gedächtnisinhalten („brain plasticity“) ist. Tagsüber werden so viele neue Erfahrungen gemacht, dass man gar nicht hinterher kommt, all diese Erfahrungen adäquat zu verarbeiten und zu speichern. Diese wichtige Aufgabe kommt dem Schlaf zu. Nur auf diese Weise ist es möglich, sich an ständig neue Situationen anzupassen und auch die Gedächtnisleistung deutlich zu verbessern.

Allerdings wird durch den Schlaf nicht nur die Bildung von korrekten Erinnerungen gefördert. Durch diesen aktiven Prozess der Gedächtniskonsolidierung und Umstrukturierung von Erinnerungen während des Schlafes kann es auch dazu kommen, dass falsche Erinnerungen (False Memories) entstehen. Zu solchen falschen Erinnerungen kommt es, weil das Gehirn die neuen Inhalte nicht einfach aufnimmt und dann wieder abspielt, wie das beispielsweise ein Computer macht. Vielmehr werden die neuen Erfahrungen mit vorherigen Erfahrungen abgeglichen, in einen gemeinsamen Kontext gebracht und gegebenenfalls durch dazugehörige Gefühle und Bewertungen gezeichnet. Die Bildung von Erinnerungen ist also ein sehr komplexer Vorgang, bei dem auch manchmal Fehler auftreten können. Dieses Wissen um falsche Erinnerungen ist besonders wichtig, um zum Beispiel entscheiden zu können, inwieweit man sich auf die Richtigkeit von Zeugenaussagen verlassen kann.

## **1.1. Schlaf**

Der Schlaf ist ein lebensnotwendiger Zustand. Jedes Lebewesen verbringt einen gewissen Teil seines Lebens im Schlaf. Typischerweise wird der Schlaf durch die Entspannung der Muskulatur und eine verminderte Reaktion auf äußere Reize charakterisiert. Eine Bedeutung des Schlafes liegt also darin, den Körper während der Nacht zu regenerieren. Im Zwei-Prozess-Modell (Borbély, 1998; Van Dongen et al. 2003) geht man davon aus, dass der Schlaf von zwei Prozessen reguliert wird:

- dem homöostatischen Prozess, der bestimmt, wann man müde wird und einschläft, wie lange und wie tief man schläft und wann man wieder aufwacht

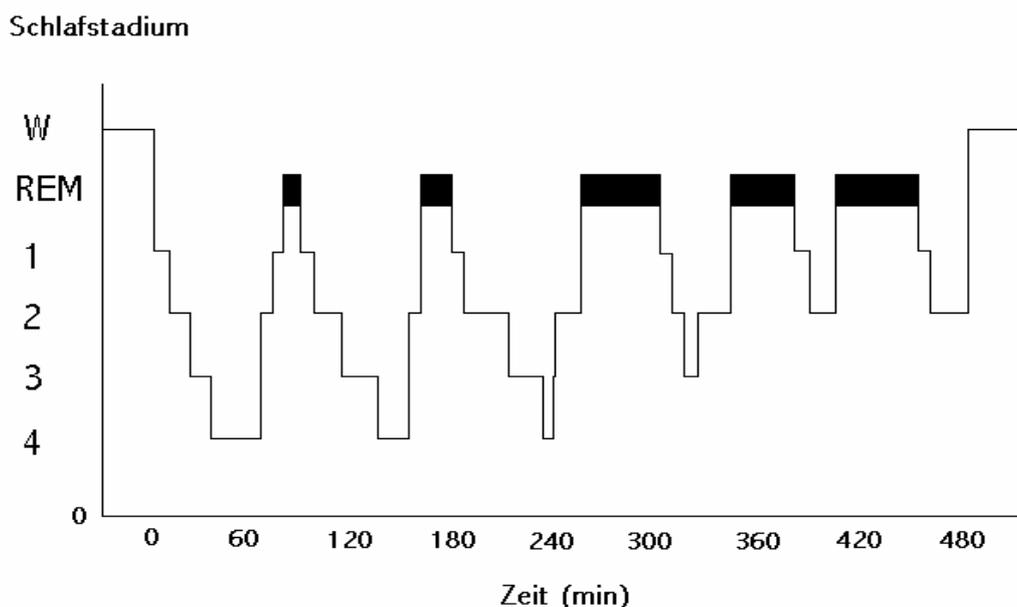
- und dem zirkadianen Prozess, der diese Zeitpunkte des Einschlafens und Wiederaufwachens verschieben kann.

Bei Schlafmangel kommt es automatisch zu Schläfrigkeit und zu einem „Nachholen“ des versäumten Schlafes („sleep-rebound“) (Aserinsky et al. 1953). In jüngster Zeit hat sich aber die Meinung durchgesetzt, dass die wichtigste Funktion des Schlafes in der Gedächtnisbildung und Umstrukturierung von Gedächtnisinhalten („brain plasticity“) liegt (Born et al. 2000, 2006; Peigneux et al. 2001; Kolb et al. 1998; Hobson, 2005). Durch diese Einsicht kann der Schlaf nicht länger als passiver Zustand tituliert werden, sondern ist eindeutig ein aktiver Prozess, bei dem interne Stimuli und Informationen, die während des Wachseins erworben und zwischengespeichert wurden, verarbeitet, verstärkt und dauerhaft gespeichert werden. So kommt es durch die Konsolidierung im Schlaf zu einer Verbesserung der Gedächtnisleistung.

### **1.1.1. Schlafstadien**

Wie Dement und Kleitmann (1957) eindeutig bestätigt haben, ist Schlaf kein gleichmäßiger Zustand, sondern besteht aus mehreren Schlafstadien, die aber wiederum in einem sehr geordneten Zyklus auftreten. Wie oben bereits dargestellt unterliegt der Schlaf ebenso wie der Tagesrhythmus dem zirkadianen Zyklus (Birbaumer et al. 2005). Nach Rechtschaffen und Kales (1968) unterscheidet man daneben fünf Schlafstadien: REM, S1, S2, S3, und S4 (siehe Abbildung 1). Mithilfe des EEGs, des EOGs und des EMGs können diese verschiedenen Schlafstadien anhand von bestimmten Eigenschaften unterschieden werden. Von Stadium S1 zu S4 wird der Schlaf immer tiefer. Die Frequenz der Wellen wird geringer und die Amplitude höher. In der Einschlafphase (S1) werden die  $\alpha$ -Wellen (8-13 Hz), die im Wachzustand vorherrschen, allmählich von langsameren  $\theta$ -Wellen (4-8 Hz) abgelöst. Auch langsam rollende Augenbewegungen im EOG sind typisch für Schlafstadium S1. Im Stadium S2, dem leichten Schlaf, sind Schlafspindeln und K-Komplexe charakteristisch. Es wird vermutet, dass die Spindeln den Schlaf vor Außenreizen schützen und abschirmen sollen. K-Komplexe treten dagegen vermehrt auf, wenn das Gehirn Reize aus der Umwelt verarbeitet. Beide Muster leiten also vom Wachzustand in den Schlafzustand über. Im Tiefschlaf (Stadium S3 und Stadium S4) zeigen sich vermehrt sehr langsame  $\delta$ -Wellen (0,5-4 Hz) mit hoher Amplitude. In Stadium S3 kommen 20- 50 %  $\delta$ -Wellen (2 Hz) vor, in Stadium S4 müssen mindestens 50 %  $\delta$ -Wellen darstellbar sein. Der Schlafende ist aus diesem sehr tiefen Schlaf zunehmend schwerer

aufzuwecken. Diese vier Schlafstadien (S1-S4) werden auch als NREM- (Non-REM) Schlaf bezeichnet und dadurch abgegrenzt vom sogenannten REM-Schlaf (Rapid-Eye-Movement). Der REM-Schlaf wird auch als paradoxer Schlaf bezeichnet, da sich im EEG kaum ein Unterschied zum Wachzustand erkennen lässt: Es zeigen sich insbesondere Wellen mit niedriger Amplitude (PGO-Wellen = ponto-geniculo-occipital) wie bei der  $\alpha$  - Aktivität, vereinzelt auch  $\gamma$ -Wellen (>30 Hz) und Sägezahnwellen. Im Gegensatz zum Wachzustand ist für den REM-Schlaf allerdings ein sehr niedriges EMG charakteristisch. Auch die Augenbewegungen im EOG sind bezeichnend: Hier beobachtet man das für den REM-Schlaf typische Rapid-Eye-Movement, das den Augenbewegungen im Wachzustand ähnelt. Im REM-Schlaf wird meist emotional und aktiv-handelnd geträumt, während im Tiefschlaf eher abstrakt-gedanklich geträumt wird. Der REM-Schlaf schließt sich typischerweise dem Tiefschlaf an und beendet den jeweiligen Schlafzyklus (Birbaumer et al. 2005) (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1.** Polysomnogramm

### 1.1.2. Schlaf im Verlauf der Nacht

Die unterschiedlichen Schlafstadien werden im Verlauf der Nacht mehrmals durchlaufen. Der Schlafende durchläuft pro Nacht etwa vier bis fünf Schlafzyklen von je 90-100 Minuten Dauer und unterliegt damit dem sog. „ultradianen Kreislauf“ (Hartmann, 1966). Dabei

verändert sich der Anteil der einzelnen Schlafstadien: In der ersten Hälfte der Nacht überwiegt der Tiefschlaf, in der zweiten Hälfte der REM-Schlaf (siehe Abbildung 1). Die Intensivierung des REM-Schlafes geht mit intensiveren und längeren Träumen einher. Im Laufe des Lebens jedoch nimmt der Anteil des REM-Schlafes an der Gesamtschlafenszeit von etwa 50% in der Neugeborenenperiode auf etwa 20% bei Jugendlichen und Erwachsenen ab. Außerdem nehmen der Anteil des Tiefschlafes und auch die Gesamtschlafdauer mit zunehmendem Alter ab. Der leichte Schlaf (S1 und S2) nimmt dagegen zu (Birbaumer et al. 2005).

### **Neurotransmitter und neurochemische Veränderungen**

Der Schlaf unterliegt typischen hormonellen Schwankungen (Cortisol, GH) (Born et al. 2000) und Änderungen im Bereich bestimmter Neurotransmitter (5-HT, NE, Ach). In der ersten Nachthälfte erreicht die Cortisol-Konzentration ihr Minimum, um dann zum Morgen hin stetig anzusteigen. Genau gegenläufig verläuft die Konzentration des Wachstumshormons (GH- Growth Hormon). Hier lässt sich die maximale Konzentration beim Einschlafen messen und sie verringert sich im Verlauf der Nacht, um am Morgen auf ihren Minimalwert zu sinken. Auch bei den Neurotransmittern gibt es solche Gegenspieler (Hobson & Pace-Schott, 2002). Hier sind die Werte von Serotonin (5-HT) und des monoaminergen Hormons Noradrenalin (NA) während der ersten Hälfte der Nacht und besonders im Tiefschlaf deutlich höher als im REM-Schlaf. Dagegen sinkt Acetylcholin (Ach) im Tiefschlaf nahezu bis zu seinem Nullwert, um dann im REM-Schlaf beinahe bis zu Werten anzusteigen, die sonst nur während der Wachheit erreicht werden (Hobson & Pace-Schott, 2002; Birbaumer et al. 2005).

### **1.1.3. Schlafdeprivation**

Es ist schon länger bekannt, dass Schlafdeprivation viele unterschiedliche Auswirkungen haben kann. Dazu gehören beispielsweise kognitive Störungen, Gereiztheit, schlechte Stimmung, verminderte Motivation und reduzierte Entscheidungsfähigkeit (Hennevin et al. 1995; Peigneux et al. 2001). Man unterscheidet drei verschiedene Formen von Schlafdeprivation: Die „totale Schlafdeprivation“, die „selektive Schlafdeprivation“ und die „partielle Schlafdeprivation“ (Peigneux et al. 2001). Bei der „**totalen Schlafdeprivation**“ dürfen die Probanden die ganze Nacht über gar nicht schlafen. Dabei zeigen sich typischerweise besonders Störungen im Bereich der Aufmerksamkeit und des

Gedächtnisses. Allerdings ist dieser Effekt auch schon bei der partiellen Schlafdeprivation erkennbar. Die „**selektive Schlafdeprivation**“ unterscheidet sich von der „partiellen Schlafdeprivation“ dadurch, dass der Proband bei der „selektiven Schlafdeprivation“ aufgeweckt wird, wenn im EEG das entsprechende Schlafstadium, z.B. der REM- Schlaf, erkennbar wird. Bei der „**partiellen Schlafdeprivation**“ schläft der Proband nur etwa 4 Stunden in der Nacht und wird dann wieder aufgeweckt. Diese 4 Stunden können entweder in der ersten oder in der zweiten Nachthälfte liegen (Peigneux et al. 2001).

## **1.2. Gedächtnissysteme**

Man kann die Gedächtnissysteme nach zwei verschiedenen Kategorien aufteilen (siehe Abbildung 2): Einerseits nach ihrem Inhalt (deklarativ und prozedural / nondeklarativ), andererseits nach ihrer zeitlichen Dauer (Kurz- und Langzeitgedächtnis) (Rosenzweig et al. 2005).

### **1.2.1. Deklaratives und prozedurales Gedächtnis**

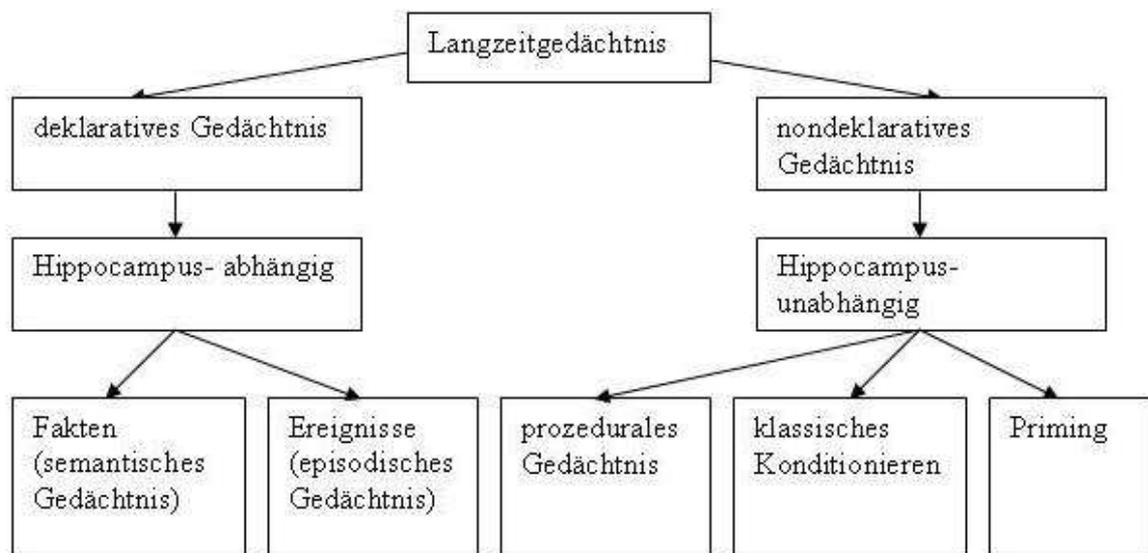
Während das prozedurale / nondeklarative Gedächtnis einem Verhaltensgedächtnis entspricht, bezeichnet man das deklarative Gedächtnis auch als Wissensgedächtnis (Smith, 2001). Beide Gedächtnisformen sind in unterschiedlichen Hirnregionen lokalisiert (Rosenzweig et al. 2005). Es ist allerdings nicht immer möglich, deklaratives und prozedurales Gedächtnis voneinander zu trennen. Beim Lernen einer fremden Sprache beispielsweise findet man eine Kombination aus beiden Formen, wenn schon eine gewisse Vorkenntnis von Wortschatz und Grammatik vorhanden ist und nicht nur Vokabeln gelernt werden. Es ist außerdem zu vermuten, dass ein kleines Kind eine neue Sprache eher prozedural lernt, ein Erwachsener dagegen eher deklarativ.

#### **Deklaratives Gedächtnis**

Das deklarative Gedächtnis beinhaltet Episoden und Fakten („knowing that“ (Smith, 2001)) und wird deshalb auch als Wissensgedächtnis bezeichnet. Man kann das deklarative Gedächtnis in ein episodisches Gedächtnis, das autobiographische Geschehnisse enthält, und in ein semantisches Gedächtnis, das beispielsweise das Allgemeinwissen und Wissen über die Welt enthält, einteilen (siehe Abbildung 2).

Da sowohl das Erlernen als auch die Wiedergabe der gespeicherten Daten, Fakten und Ereignisse bewusst geschehen müssen, nennt man es auch explizites Gedächtnis.

Langfristige Speicherorte für autobiographische Episoden sind insbesondere der Neocortex und der rechte frontale und temporale Cortex. Semantische Informationen (Daten und Fakten, allgemeines Wissen über die Welt) werden im Neocortex und im Temporallappen gespeichert. Für die bewusste Speicherung und Abrufung von neu erworbenem Wissen sind das mediale Temporalsystem (MTL) und der Hippocampus unabdingbar (Rosenzweig et al. 2005) (siehe Abbildung 2). Besonders für das episodische Gedächtnis zeigt sich die Bedeutung dieser Hirnstrukturen sehr deutlich, wenn man Patienten mit einer Schädigung im Bereich des Hippocampus und des MTL beobachtet (beispielhaft soll hier der Patient H.M. mit Lobektomie des MTL genannt werden). Diese Patienten leiden sowohl an anterograder Amnesie (keine Bildung neuer Erinnerungen) als auch an retrograder Amnesie (keine Erinnerungen besonders an Ereignisse, die kurz vor dem Ereignis der Schädigung lagen). Prozedurales Gedächtnis zu bilden macht diesen Patienten dagegen oft keine Schwierigkeiten (Rosenzweig et al. 2005). Es hat sich herausgestellt, dass das Speichern von deklarativen Gedächtnisinhalten schneller vonstatten geht als das Speichern von prozeduralen. Dafür können sie aber auch schneller wieder gelöscht und vergessen werden (Born et al. 2006).



**Abbildung 2.** Deklaratives und prozedurales Gedächtnis nach Rosenzweig et al. 2005

## **Prozedurales / nondeklaratives Gedächtnis**

Das nondeklarative Gedächtnis bildet eine sehr heterogene Gruppe von Gedächtnissystemen und beinhaltet die folgenden unterschiedlichen Lernmechanismen (siehe Abbildung 2): Habituation und Sensibilisierung (nicht-assoziativ), klassische Konditionierung, Priming (Effekte von Erwartungen) und das prozedurale (Verhaltens-) Gedächtnis (Rosenzweig et al. 2005), bei dem das Erlernen von Fertigkeiten und Gewohnheiten (Skill- oder Habit-Lernen) im Mittelpunkt steht („knowing how“ (Smith, 2001)). Beim nondeklarativen (und so auch beim prozeduralen) Gedächtnis wird das Verhalten meist ohne Einschaltung des Bewusstseins beeinflusst, deshalb kann es auch als implizites Gedächtnis bezeichnet werden. Fertigkeiten und Gewohnheiten werden sowohl in den Basalganglien, im Striatum und in der Amygdala als auch im motorischen Cortex und im Kleinhirn gespeichert und laufen dann reflexiv und passiv ab. Der Hippocampus spielt beim prozeduralen Gedächtnis keine entscheidende Rolle (Rosenzweig et al. 2005) (siehe Abbildung 2).

### **1.2.2. Kurz- und Langzeitgedächtnis**

Alle deklarativen Lerninhalte durchwandern zunächst das Kurzzeitgedächtnis, werden dort geordnet, als wichtig oder unwichtig, schon bekannt oder noch unbekannt eingestuft und entweder gelöscht oder im Gedächtnis behalten. Wenn der Gedächtnisinhalte über eine gewisse Zeit im Gedächtnis erhalten bleibt, spricht man von Arbeitsgedächtnis (Working-Memory), das ein Teil des Kurzzeitgedächtnisses darstellt. Im Kurzzeitgedächtnis verbleiben Erinnerungen Minuten bis Stunden (Rosenzweig et al. 2005).

Aufgabe des Langzeitgedächtnisses ist die dauerhafte Speicherung (Tage bis Jahre) von deklarativen und nondeklarativen / prozeduralen Gedächtnisinhalten. Die Kapazität des Langzeitgedächtnisses ist deutlich größer als die des Kurzzeitgedächtnisses. Nur solche Lerninhalte, die der Lernende als relevant eingestuft hat, können im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Im Vergleich zum Kurzzeitgedächtnis ist das Langzeitgedächtnis resistenter gegen Löschung der Gedächtnisinhalte. Dies lässt sich am Beispiel dementer Personen gut nachvollziehen, wenn diese sich aktuelle, neue Daten kaum mehr merken, sich dagegen aber noch sehr genau an Episoden ihrer Kindheit erinnern können. Allerdings benötigt das Abfragen der Informationen aus dem Langzeitgedächtnis dabei eine längere Zeit als dies beim Kurzzeitgedächtnis der Fall ist. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Speicher viel größer ist und eine Suche in diesem Speicher folglich längere Zeit in Anspruch nimmt (Rosenzweig et al. 2005).

## **1.3. Die Gedächtniskonsolidierung**

### **1.3.1. Mechanismen und Funktionen**

Man unterscheidet drei Stufen der Gedächtnisverarbeitung: Enkodierung, Konsolidierung und Abruf (Rosenzweig et al. 2005). Bei der Enkodierung wird die neue Information zunächst aufgenommen, „entschlüsselt“ und dann in eine neuronale Spur umgewandelt. Diese noch labile Gedächtnisspur (des Kurzzeitgedächtnisses) wird im zweiten Schritt der Konsolidierung in schon bestehende Gedächtnisformationen integriert, darin gespeichert und gefestigt. Die Gedächtniskonsolidierung ist ein zeitabhängiger Prozess, der labile Gedächtnisspuren in länger anhaltende umwandelt (Ribot'sches Gesetz), so dass Informationen, die tagsüber erworben werden, im Schlaf verändert und umstrukturiert werden (Ribot, 1882; Frankland & Bontempi, 2005; Peigneux et al. 2001; McGaugh, 1966). Die Konsolidierung erfolgt zunächst auf der synaptischen Ebene, wo innerhalb von Minuten bis Stunden synaptische Verbindungen in bestimmten Hirnbereichen entstehen oder umstrukturiert werden (synaptic consolidation). Durch die sog. Langzeitpotenzierung können die synaptischen Verbindungen langfristig verstärkt werden (Bliss & Lømo, 1973). Anschließend auf der systemischen Ebene, die Tage bis Monate andauern kann (system consolidation) und bei der ganze Gehirnregionen umstrukturiert werden können, die für die Gedächtnisbildung wichtig sind (Born et al. 2006; Frankland & Bontempi, 2005). Diese endgültige Speicherung (system consolidation) ins Langzeitgedächtnis ist abhängig von Schlaf bzw. wird dadurch deutlich verbessert (Walker, 2006). Anschließend kann die so gespeicherte Information jederzeit wieder abgerufen bzw. erinnert werden (Born et al. 2006). Um eine optimale Gedächtnisleistung zu erreichen, müssen alle drei Stufen der Gedächtnisverarbeitung durchlaufen werden.

### **Reaktivierung und Transfer**

Beim Lernen nehmen zunächst solche Gehirnteile, die beispielsweise den Sinnesorganen zugeordnet sind, die zu erlernende Information auf. Bei der Konsolidierung des deklarativen Gedächtnisses sind zwei Hirnstrukturen von besonderer Bedeutung: der mediale Temporallappen (MTL) einschließlich des Hippocampus und der präfrontale Cortex. Zunächst wird die aufgenommene Information zum Hippocampus geleitet. Im Hippocampus bekommt jede noch so minimal unterschiedliche Eigenschaft der Lerninformation (sensorische und perzeptuelle Information, Gefühle, Bewertungen,

Gedanken bezüglich der Information) ihren eigenen „Index“ (Schacter et al. 1998). Im Schlaf wird die Lerninformation vom Tag unbewusst noch einmal durchgespielt. Dabei sind dieselben Hirnregionen und neuronalen Netzwerke aktiv wie zuvor beim Lernen am Tag - es geschieht ein „replay,“ eine Reaktivierung des Gelernten, wodurch die Verknüpfung zwischen den beim Lernen gemeinsam aktiven Neuronen verstärkt wird (Buzsaki, 1998; Nadasdy et al. 1999; Frankland & Bontempi, 2005).

Durch die Reaktivierung werden die Lernleistungen bei der Abfrage deutlich verbessert (Marr, 1970; Diekelmann & Born, 2009; Wilson & McNaughton, 1994). Wenn die kortikalen Verbindungen allmählich stark genug sind, um unabhängig vom Hippocampus zu funktionieren, erfolgt der endgültige Transfer zum Neocortex um dort im Langzeitgedächtnis abgespeichert zu werden (Frankland & Bontempi, 2005). Dieser Transferprozess konnte in Studien mit Patienten, die Schädigungen im Bereich des MTL und des Hippocampus aufweisen, beobachtet werden. Die Patienten zeigen typischerweise nur Gedächtnisverluste, die sich auf erst kürzlich erworbene Erinnerungen beziehen, wohingegen Kindheitserinnerungen unbeeinflusst bleiben. Daraus schloss man, dass der Hippocampus als temporärer Speicherort (für etwa eine Woche) für neu erworbene (deklarativ-episodische) Informationen dient. Den endgültigen Speicherort bildet dagegen der Neocortex und zwar insbesondere der präfrontale Cortex („Der Hippocampus lernt schnell, der Cortex langsam“) (Frankland & Bontempi, 2005). Sobald der Transfer in den Cortex vollständig abgeschlossen ist, führt eine Schädigung des Hippocampus nicht mehr zu einem Verlust der Erinnerung. Die Information ist also unabhängig vom Hippocampus geworden. Im Cortex werden die neuen Informationen in schon existierende Gedächtnisformationen integriert. So wird der bestehende Wissenspool ständig aktualisiert und das Individuum kann sich an sich ständig ändernde Situationen gut anpassen. Wie Frankland & Bontempi 2005 berichten konnten, wird die Aktivität des Hippocampus bei der Abfrage von Langzeiterinnerungen aktiv inhibiert, sofern die abgefragte Information nicht schon wieder vergessen worden ist. Der Sinn dieses Prozesses liegt vermutlich darin, dass der Hippocampus nicht überflüssigerweise schon bestehende Erinnerungen erneut speichert oder dass diese vorher bestehenden Erinnerungen nicht von neuen Informationen gelöscht werden, sondern dass die Langzeiterinnerung hierdurch geschützt wird.

### **Neuroendokrine Mechanismen**

Durch Acetylcholin und Cortisol wird dieser Transfer der Information vom Hippocampus zum Neocortex unterdrückt. So kommt es zu schlechteren Ergebnissen bei der Abfrage des

Gedächtnisses. In den Studien von Gais und Born (2004a, 2004b) konnte gezeigt werden, dass bei einem Anstieg von Acetylcholin unter Infusion des Cholinesterase-Inhibitors Physostigmin während des Tiefschlafes das deklarative Gedächtnis blockiert werden kann. Die Gabe von Scopolamin (Muskarin-Antagonist) und Mecamylamin (Nicotin-Antagonist), die zu einer Senkung von Acetylcholin führen, verbessern dagegen das deklarative Gedächtnis (Rasch et al. 2006). Auch Cortisol unterdrückt die Abgabe von Gedächtnisinhalten aus dem Hippocampus zum Neocortex (Born et al. 2006). Außerdem wirkt es nicht nur am Hippocampus, sondern auch am übrigen limbischen System und dem Hypothalamus. So verhindert Cortisol einerseits die Aufnahme von neuen Informationen, andererseits behindert es das Abrufen von schon Gelerntem (Black out).

### **Die Rolle des Hippocampus**

Eine besondere Bedeutung des Hippocampus liegt darin, dass er verantwortlich für die Reaktivierung ist. Die Reaktivierung von Gedächtnisinhalten, die diesen Transfervorgang unterstützt und die neu gebildeten kortikalen Verbindungen (durch hochfrequente Oszillationen) verstärkt, ist der wahrscheinlich wichtigste Aspekt bei der Konsolidierung. Ohne die Reaktivierung wäre das langfristige Erinnern des Gelernten vermutlich unmöglich (Frankland & Bontempi, 2005). Dabei unterscheidet man die Reaktivierung in „online“-Stadien, also in Situationen, die dem Erlernten ähnlich sind und deshalb zu einer Neuerfassung des Erlernten führen, von der in „offline“-Stadien, also der Reaktivierung während des Schlafes oder während Tagträumen (Frankland & Bontempi, 2005). Besonders dem Schlaf wird hier eine besonders bedeutende Rolle zugesprochen. Es scheint nämlich möglich zu sein, im Schlaf schon verlorene Erinnerungen wieder neu zu speichern, neue Problemlösungsstrategien und sogar Einsicht in zuvor verborgene Systeme oder Regeln zu erlangen und dadurch seine Lernleistung entscheidend zu verbessern. Dies konnten Wagner et al. 2004 nachweisen.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Hippocampus ist es, auf molekularer Ebene die Genexpression von einigen Genen, die im Cortex exprimiert werden, zu regulieren. Diese Gene tragen zur Stabilisierung von Synapsen bei. Dazu gehört das ZIF268-Gen, ein Transkriptionsfaktor, der im REM-Schlaf nach oben reguliert wird und durch Stabilisierung von kortikalen Verbindungen das Langzeitgedächtnis reguliert (Frankland & Bontempi, 2005; Jones et al. 2001; Lee et al. 2004). Damit vereinbar ist auch das Zwei-Stadien-Modell, das davon ausgeht, dass sich im Tiefschlaf zunächst kortikale Verbindungen

strukturell verändern und dass im nachfolgenden REM-Schlaf diese neuen Verbindungen stabilisiert werden (Ribeiro et al. 2004).

### **1.3.2. False Memories**

Von False Memories (falscher Erinnerung) spricht man, wenn Leute glauben, sich an etwas zu erinnern, das in Wirklichkeit niemals existiert oder stattgefunden hat (Roediger, III & McDermott, 1995). Interessant ist, dass Leute mit False Memories tatsächlich meistens sehr fest von der Richtigkeit der Erinnerung überzeugt sind (Marsh & Bower, 2004; Seamon et al. 2002a, 2002b; Roediger, III & McDermott, 1995). Außerdem werden False Memories besonders häufig unter emotionalem oder psychosozialem Stress beobachtet (Verbrechen-Falschaussagen von Zeugen) (Schacter et al. 1998; Blagrove et al. 2000). Generell gelten aber die gleichen Prinzipien bei der Erzeugung von False Memories wie bei der Entstehung von richtigen Erinnerungen (Enkodierung, Konsolidierung, Abfrage). Anhand von False Memories kann man besonders schön erkennen, dass ein aktiver Verarbeitungsprozess im Gehirn abläuft und dass dabei manchmal auch Fehler entstehen können.

False Memories sind allerdings abzugrenzen von anderen Phänomenen, die ebenfalls zeigen, dass das Gedächtnis Dinge nicht einfach wie ein Computer speichert. Zu diesen Phänomenen zählen das Vergessen oder im Gegensatz dazu die Persistenz von Erinnerungen (wenn man z.B. nach einem Trauma eigentlich versucht diese Erinnerungen zu vergessen). Sehr wichtig ist auch die Verzerrung von Erinnerungen. Unter diesen letzten Aspekt fallen verschiedene Untergruppen. Dazu gehören die falsche Zuordnung, also dass ein eigentlich imaginäres Ereignis fälschlicherweise als real erinnert wird, die Beeinflussbarkeit bzw. die Suggestierbarkeit, die sich z.B. durch irreführende Fragen hervorrufen lässt und zuletzt die Voreingenommenheit (bias) durch vorherige Erfahrung und Einflüsse, die einen störenden Einfluss nehmen können (Schacter et al. 2004).

Andererseits ist es für den Alltag nicht unbedingt von Nachteil, in manchen Situationen in gewisser Weise voreingenommen zu sein und von erlerntem Wissen zu profitieren.

Während bei der Verzerrung von Erinnerungen der Bericht über ein Ereignis sich schwerwiegend von dem tatsächlichen Ereignis unterscheidet, definieren sich False Memories dadurch, dass man sich an etwas erinnert, was nie geschehen ist.

## **Verallgemeinerung**

Wenn der Lernende vor einer Situation steht, in der er sich neues Lernmaterial oder neue Situationen einprägen soll, kann im Alltag die Herstellung eines Kontextes oder einer Verallgemeinerung das Lernen oft erheblich erleichtern. Dafür müssen die neuen Informationen gedanklich durch Assoziation miteinander verbunden werden, so dass ein einziges großes und zusammenhängendes Gedächtnisgeflecht aufgebaut werden kann, auf das wir jederzeit zurückgreifen können. Dabei genügt ein kleiner Teil dieses Geflechts, um die Gesamtsituation wieder zu rekonstruieren (Schacter et al. 1995, 2004; Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971). So kann es für den Alltag durchaus nützlich sein, aus ähnlichen, vorangegangenen Situationen zu lernen und z.B. generell beim Anblick einer Raubkatze davon zu rennen, egal ob man eine Situation mit genau dieser Art von Raubkatze schon einmal miterlebt hat oder nicht. Allerdings können durch diese „Lernhilfe“ aber auch False Memories entstehen, wenn man sich nicht mehr an genaue Details erinnern kann, sondern nur noch an das allgemeine Thema bzw. den generellen Sinn eines Erlebnisses.

## **Alltag**

Besonders häufig werden False Memories gebildet, wenn sehr alltägliche Situationen oder Ereignisse genau erinnert werden sollen. Da diese Situationen so bekannt sind und in ähnlicher Weise schon früher einmal erlebt wurden, werden sie schnell mit den früheren Ereignissen in Verbindung gebracht, so dass man nicht mehr unterscheiden kann, was neu erlebt wurde und was eigentlich noch Informationen von früher waren. Die neuen Erinnerungen werden also unter dem Einfluss von bereits Bekanntem oder vorherrschendem Wissen umgewandelt und verfälscht (Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971; Schacter et al. 1995, 2004).

Oftmals können dann Probleme mit der korrekten Erinnerung auftreten, wenn nicht ausreichend neue Informationen in einem Ereignis liegen und man deshalb die Informationen in einem solchen Ereignis nicht besonders gut beobachtet, weil man meint, alles schon zu kennen. So kann es passieren, dass ähnliche Ereignisse nicht auseinander gehalten werden können und dass diese miteinander verschwimmen. Soll man nun von Details dieser Erfahrung berichten, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass man meint, sich an Dinge zu erinnern, die gar nicht wirklich an diesem Ereignis geschehen sind. Das kann deshalb passieren, weil man das Ereignis detaillierter beschreiben möchte als man es überhaupt miterlebt hat („extended in memory“; Intraub et al. 1992, 1996) und weil man aus diesem Grund offener ist, angebotene Vorschläge von außen (z.B. Suggestivfragen nach

einem Video) oder Fantasien als „Lückenfüller“ zu akzeptieren (Loftus, 1997; Schacter et al. 1998). Dieses „Lückenfüllen“ kommt auch dann zum Einsatz, wenn es echte Wissenslücken in einem Ereignis gibt, beispielsweise in einem Alkoholrausch und bei anterograder Amnesie. Dann neigen diese Patienten, die meist an einer Schädigung des Frontalhirns leiden, gerne dazu zu konfabulieren und sie sind sich nicht bewusst, dass diese Erzählungen von persönlichen Erfahrungen zeitlich und räumlich fehlerhaft sind. Außerdem kann es vorkommen, dass man es nicht immer als notwendig erachtet, sich an ein Ereignis ganz genau zu erinnern und dadurch auch immer wieder von falschen Dingen berichtet (Schacter et al. 1998).

Denkt man nun über solche imaginären Details immer wieder nach und lässt sie vor dem inneren Auge abspielen und „lebendig“ werden (Loftus, 1997), kann man irgendwann nicht mehr unterscheiden, ob man dieses Detail wirklich erlebt hat oder ob man es sich nur immer wieder vorgestellt hat. Damit lassen sich die Ergebnisse von Bartlett (1932) erklären, der zeigen konnte, dass eine Geschichte mit der Zeit immer mehr verändert und abstrahiert wird, so dass sie auch noch nach Jahren zum aktuellen Wissensstand des Erzählers passt. Dass man False Memories auch noch lange Zeit nach der eigentlichen Erfahrung und festen Speicherung im Langzeitgedächtnis hervorrufen kann, beschreibt ein Review von Loftus (1993). Dabei sollten sich die Probanden an eine Kindheitserinnerung erinnern, die nie geschehen war (nämlich dass sie in einem Kaufhaus verloren gegangen waren). 25% der Probanden glaubten im Nachhinein tatsächlich, sich an dieses imaginäre Ereignis erinnern zu können, teilweise sehr detailliert. In Nachfolgestudien konnte dieses Ergebnis bestätigt werden (Loftus et al. 1995).

### **DRM-Wortlisten**

Mithilfe der DRM- (Deese (1959)-Roediger (1995) und McDermott (1996)) Wortlisten lassen sich ungewöhnlich viele False Memories provozieren. Hierbei ist jeder DRM-Wortliste ein semantisch assoziiertes Schlüsselwort (das False Memory) zugeordnet, welches die Wortliste thematisch wiedergibt, selbst aber nicht genannt wird (Marsh & Bower, 2004; Seamon et al. 2002a, 2002b; Schacter et al. 2004; Schacter et al. 1995; Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971). Dadurch dass die semantisch gleichen Listen in Blöcken gelernt werden, erhöht sich die Rate an False Memories noch zusätzlich (McDermott, 1996). Bei der Bildung von False Memories kommt während der Enkodierung der Assoziation und der Verallgemeinerung (s.o.) eine bedeutende Rolle zu. Diese Assoziation kann bewusst oder unbewusst erfolgen. Die Probanden können beispielsweise

in einer Liste das False Memory „schwarz“ hinzu assoziieren, wenn sie Wörter wie weiß, dunkel, Nacht, Beerdigung und Tod hören. Dadurch können Probleme bei der detaillierten Abfrage entstehen (failure of pattern separation) (Schacter et al. 1998). False Memories kommen sowohl konzeptuell (betrifft unterschiedliche Worte mit gleicher Bedeutung) als auch perzeptuell (unterschiedliche Worte mit gleichem Klang) vor. Indem man mehrere Sinnesorgane (z.B. Sehen und Hören) gleichzeitig anspricht, kann die pattern separation etwas erleichtert werden.

Daneben kann es bei der Enkodierung der DRM-Wortlisten deshalb zu False Memories kommen, weil man nicht mehr genau weiß, woher man das Wort kennt, also ob man das Wort wirklich gehört hat oder es sich nur vorgestellt hat (source confusion) (Lindsay & Johnson, 1989; Dodson & Johnson, 1993; Loftus, 1997). Selbst durch Hilfeleistungen und Anweisungen, das Wort genau auf seine Erinnerungsquelle hin zu überprüfen (Wie hat das Wort geklungen?), konnten False Memories nicht vermieden werden (Neuschatz, Payne, Lampinen & Toggia, 2001; McCabe & Smith, 2002). False Memories werden also genauso „lebhaft“ erinnert wie Wörter, die tatsächlich in der Wortliste vorkamen und sind oft sogar noch robuster gegen Vergessen als jedes andere Wort der Liste (Seamon et al. 2002a, 2002b, Thapar & McDermott, 2001, Toggia, Neuschatz & Goodwin, 1999). Das liegt vermutlich daran, dass man bei jedem Wort der Wortliste das False Memory hinzu assoziiert hat und es somit viel öfters indirekt „wiederholt“ wurde. Selbst wenn einzelne Wörter in der Liste vorkommen, die semantisch nicht dazu passen, merkt man sich das False Memory noch. Dadurch verschlechtert sich lediglich die Anzahl der richtigen Antworten.

Jede neue Erfahrung beinhaltet verschiedene Attribute wie sensorische und perzeptuelle Eigenschaften, Interpretationen, Gefühle, Bewertungen und räumliche und zeitliche Eingliederung (Schacter et al. 1998). Diese verschiedenen Attribute der Erinnerung werden stets getrennt voneinander in verschiedenen Hirnregionen gespeichert, müssen aber bei der Enkodierung ausreichend miteinander verknüpft werden (feature binding). Nur wenn bei der Abfrage die an der Speicherung beteiligten Teile des Gehirns dank dieser Verknüpfung wieder gemeinsam aktiviert werden können, kann eine komplette Erinnerung erlangt werden. Ansonsten kann es zu Erinnerungslücken kommen, bei denen einzelne Fragmente des Ereignisses nicht mehr erinnert werden (Schacter et al. 1998).

Auch beim Abruf können False Memories entstehen, nämlich durch das Focusing und den Criterion Setting Process. Um eine Erinnerung bei der Abfrage richtig wiedergeben zu können, ist einerseits wichtig, dass man es schafft, diese eine gefragte Erinnerung aus dem

Gesamtpool von Erinnerungen auszuwählen (Focusing). Dabei besteht die Schwierigkeit darin, zwischen ähnlichen Situationen und Erinnerungen zu unterscheiden, wofür wiederum eine korrekte Enkodierung nötig ist. Hat man nun die richtige Erinnerung ausgewählt, muss man im zweiten Schritt entscheiden, ob es sich um eine echte Erinnerung oder nur um Gedanken und Vorstellungen zu dieser Erinnerung handelt (Criterion Setting Process) (McClelland, 1995). Diese beiden Prozesse tragen im Normalfall zu der Entscheidung bei, ob diese Information zu der Frage gehört und was die richtige Antwort auf die Frage ist.

### **Unterscheidung zwischen wahrer und falscher Erinnerung**

Interessanterweise scheint das Gehirn zwischen wahrer und falscher Erinnerung in gewissem Maße unterscheiden zu können. Da die Aufnahme von wahrer Information immer über die Sinneswahrnehmung verläuft, kann man bei der Erkennung von wahrer Information eine Reaktivierung von sensorischen Prozessen beobachten (temporoparietal: Hören, occipital: Sehen). In diesen Bereichen und im Bereich der parahippocampalen Gyri (kontextuell) zeigt sich dann im PET / fMRI eine Zunahme des Blutflusses (Schacter & Slotnick, 2004). Bei falscher Information sind lediglich die Regionen des medialen Temporallappens (MTL) und des Hippocampus aktiv, die für die Gedächtnisfunktion an sich zuständig sind.

Da Patienten mit einer Schädigung im Bereich des Hippocampus und des MTL (Amnesie, Alzheimer Demenz) deutlich weniger False Memories bilden als gesunde Probanden, vermutlich weil sie das Thema einer Liste nicht mehr so gut erkennen können, nimmt man an, dass der Hippocampus zur Entstehung von False Memories entscheidend beiträgt (Schacter et al. 1998; Schacter & Slotnick, 2004). Als Gegenspieler zum Hippocampus fungiert der präfrontale Cortex, der dafür sorgt, dass weniger False Memories entstehen (Schacter & Slotnick, 2004). So zeigen Patienten mit Schädigungen im Bereich des präfrontalen Cortex deutlich mehr False Memories als gesunde Probanden, vermutlich aufgrund von source confusion und Problemen beim criterion setting process (s.o.) (Schacter et al. 1998). Auch dem linken parietalen Cortex kommt eine entscheidende Bedeutung bei der Unterscheidung zwischen wahrer und falscher Erinnerung zu. Bei Patienten mit Trennung der beiden Hemisphären werden besonders von der linken Hemisphäre, die kategorisch arbeitet und dafür zuständig ist, den Zusammenhang zwischen verschiedenen Faktoren zu erkennen, False Memories gebildet. Die rechte Hemisphäre ist dagegen für das Detailwissen zuständig.

## **1.4. Schlaf und Gedächtnis**

Der Schlaf spielt für das Gedächtnis eine sehr bedeutende Rolle. Während man wach ist sammelt man allerlei neue Informationen, die dann in der ruhigen Phase des Schlafes endgültig verarbeitet und konsolidiert werden. Auf diese Weise gelingt es dem Menschen, sich an immer neue Situationen anzupassen und die Gedächtnisleistung zu verbessern. Auch scheint der einzige Grund für die Bewusstlosigkeit während des Schlafens darin zu liegen, dass die neuen Gedächtnisinhalte ungestört im Schlaf konsolidiert werden können. Allein um auszuruhen und sich zu regenerieren, ist es nicht nötig, bewusstlos zu werden (Peigneux et al. 2001).

### **1.4.1. Auswirkungen vom Lernen auf den Schlaf**

Nach dem Lernen ändert sich die Schlafarchitektur insofern, als sich die Dauer von NREM- und REM-Schlaf verlängert, die Häufigkeit der Spindeln insbesondere im S2-Stadium größer wird (Peigneux et al. 2001; Kattler et al. 1994) und im REM-Schlaf eine erhöhte Dichte und Anzahl sowohl der raschen Augenbewegungen als auch der REM-Episoden an sich beobachtet werden können (Peigneux et al. 2001; Smith et al. 1991). Auch Trauminhalte verändern sich nach dem Lernen. Ein interessantes Phänomen ist, dass man beim intensiven Erlernen einer Fremdsprache gehäuft auch in dieser Sprache träumt. DeKonick et al. konnten 1990 nachweisen, dass Leute, die eine neu gelernte Sprache in ihre Träume einbauen, auch besonders große Lernfortschritte machen. Dieses Phänomen deutet darauf hin, dass im Schlaf und in Träumen das Gelernte vom Tag noch einmal abgespielt und geübt wird.

### **Deklaratives, prozedurales und emotionales Gedächtnis und Schlaf**

Insbesondere der Tiefschlaf (S3 und S4), der in der ersten Hälfte der Nacht vorherrscht, ist für die Speicherung und Bildung des deklarativen Gedächtnisses verantwortlich. Auch die Länge des NREM-REM-Schlafzyklus scheint für das deklarative Gedächtnis von Bedeutung zu sein (Smith, 2001). Für die Bildung und Speicherung des prozeduralen Gedächtnisses ist vor allem der REM-Schlaf in der zweiten Hälfte der Nacht verantwortlich. Dies konnten unter anderen 1997 Plihal und Born nachweisen, indem sie Probanden nur eine Nachthälfte schlafen ließen, so dass diese je nach Schlafhälfte viel oder wenig Zeit im REM-Schlaf verbrachten, und anschließend die Probanden anhand von Spiegelschriftversuchen miteinander verglichen. Mit diesen Ergebnissen stimmt die „dual process“-

Hypothese überein (Peigneux et al. 2001), die besagt, dass REM- und NREM-Schlaf auf unterschiedliche Weise an der Gedächtnisbildung arbeiten, der REM-Schlaf also bei der Konsolidierung von prozeduralem Gedächtnis beteiligt ist, der NREM-Schlaf bei der Konsolidierung von deklarativem Gedächtnis.

Dem gegenüber steht die „double step“-Hypothese (Peigneux et al. 2001), nach der NREM- und REM-Schlaf komplementäre Rollen bei der Gedächtnisbildung haben und nacheinander an der Gedächtniskonsolidierung arbeiten. Hiernach sind beide Schlafphasen notwendig für die Verbesserung des Gedächtnisses. So erhöht sich bei komplexem motorisch-prozeduralem Lernen wie z.B. dem Trampolinspringen (Buchegger et al. 1988) einerseits der Anteil an REM-Schlaf, andererseits scheint aber auch das Schlafstadium S2 für das motorisch-prozedurale Gedächtnis mit verantwortlich zu sein und verbessert feinmotorische Fähigkeiten wie z.B. das Spielen eines Musikinstruments.

Für die Wiedergabe von emotionalen Sätzen spielt der REM-Schlaf die entscheidende Rolle, da die Aktivität der Amygdala, die für das emotionale Gedächtnis verantwortlich ist, besonders im REM-Schlaf gesteigert ist. REM-Schlaf ist also besonders bedeutend für das prozedurale Gedächtnis und das emotionale Gedächtnis. Auch während Examenszeiten konnten eine erhöhte Dichte an REM-Schlaf und vermehrte Augenbewegungen nachgewiesen werden (Smith et al. 1991).

#### **1.4.2. Auswirkungen von Schlaf auf das Gedächtnis**

Wird nach dem bewussten Lernen geschlafen, zeigt sich insbesondere für schwach verschlüsselte und gespeicherte Informationen des expliziten Gedächtnisses dank der Reaktivierung eine Verbesserung der Lernleistungen (Marr, 1970; Diekelmann & Born, 2009a; Wilson & McNaughton, 1994). Dabei reicht schon eine kurze Periode Schlaf, um einen Effekt für das deklarative Gedächtnis herbeizuführen. Für das prozedurale Gedächtnis ist dagegen eine längere Schlafdauer nötig (Diekelmann et al. 2008 & 2009b; Smith, 1995). Besonders wichtig für die Konsolidierung von deklarativen Inhalten (Smith, 2001) scheint zu sein, den Schlafzyklus bzw. die Schlafarchitektur nicht zu stören (Peigneux et al. 2001; Ficca et al. 2000). So können beispielsweise hormonale oder neuromodulatorische Änderungen sowie Stress und Schlafdeprivation zu Verschiebungen des REM/NREM-Verhältnisses führen und dadurch insbesondere deklarative Gedächtnisleistungen weiter verschlechtern.

## **Die Bedeutung des Tiefschlafes**

Wie verschiedene Studien gezeigt haben, sind sowohl die Reaktivierung als auch der Transfer der Information vom Hippocampus zum Neocortex im Rahmen der Konsolidierung abhängig vom Tiefschlaf (Orban et al. 2006; Born et al. 2006). Im Tiefschlaf liegen zwei besonders günstige Bedingungen für den Transfer vor. Erstens ist man im Tiefschlaf vor störenden, neuen Einflüssen von außen abgeschirmt und es muss nichts Neues gelernt werden. Zweitens sind die typischen „slow oscillations“ im Tiefschlaf von besonderer Bedeutung (Steriade et al. 1993). Eben diese sollen dazu führen, dass die Neurone synchron feuern und dadurch die Reaktivierung überhaupt vonstatten gehen kann. Außerdem sollen verschiedene Hirnstrukturen (Neocortex, Thalamus, Hippocampus, Hirnstamm) dadurch miteinander verbunden werden (Lestienne et al. 1997). Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass intensives Lernen (egal ob von deklarativer oder prozeduraler Information) die Spindelaktivität steigert und diese wiederum für verbesserte Plastizität in neuronalen Netzwerken sorgt.

Die Bedeutung des Tiefschlafes für den Lernvorgang liegt auch in den für ihn typischen Deltawellen, wie eine Studie von Marshall et al. 2006 zeigte. Darin wurde mit Hilfe von leichten elektrischen, oszillierenden Stromstößen, die solche Deltawellen nachahmen, der Tiefschlaf verstärkt - und die Abfrage der Wortpaare am nächsten Morgen war deutlich verbessert.

## **Stimulation während des Schlafes**

Dass durch Stimulationen während des Schlafes die Gedächtnisleistung verbessert werden kann, zeigten Rasch et al. in ihrer Studie 2007. Darin wurde den Probanden sowohl während des Lernens als auch während des Tiefschlafes ein Geruch präsentiert (Rosenduft), ohne den Schlaf oder die Schlafarchitektur zu stören. Bei der Abfrage zeigte sich eine signifikante Verbesserung des deklarativen Gedächtnisses im Vergleich zu Probanden, die ohne diesen Rosenduft gelernt oder geschlafen hatten. Man nimmt an, dass die wiederholte Präsentation des Rosenduftes als starker kontextueller Schlüssel (contextual cue) dient und zu einer verstärkten Reaktivierung des Gelernten führt. Vermutlich kommt es hierbei zu einer ausgeprägteren Verstärkung von neuronalen Verbindungen.

## **Fazit**

Am besten für den Lernerfolg ist es, neue Dinge am Morgen zu lernen, wenn die Konzentrationsfähigkeit noch am höchsten ist, und dann aber unbedingt diese neu

erworbenen Informationen vor dem Schlafengehen noch einmal zu wiederholen, damit diese direkt konsolidiert und fest gespeichert werden können. Eine weitere Möglichkeit ist ein kurzer Mittagsschlaf, der ebenfalls die Gedächtnisleistung entscheidend verbessern kann. Wichtig ist, dass möglichst zeitnah (innerhalb von drei Stunden) nach dem Lernen geschlafen wird, ansonsten geht ein Großteil der noch labilen Gedächtnisspuren im Laufe des Tages wieder verloren oder wird überlagert. Wird eine ganze Nacht gar nicht geschlafen, wird der Großteil der neuen Informationen vergessen und kann auch durch ein Nachholen des Schlafes nicht wiedererlangt werden (Diekelmann & Born, 2009a).

### **1.4.3. Auswirkungen von Schlafdeprivation**

Zu den Auswirkungen von Schlafdeprivation zählt man kognitive Störungen, emotionale Änderungen (Gereiztheit) und Änderungen des Verhaltens, Änderungen der Motivation und Entscheidungsfähigkeit, Störungen des biologischen Rhythmus, des (Glucose-) Metabolismus und neuronale Verstärkungen, wodurch beispielsweise Epilepsien ausgelöst werden können (Peigneux et al. 2001; Hennevin et al. 1995).

#### **Akuter und chronischer Schlafentzug**

Man unterscheidet einen chronischen Schlafentzug von einem akuten Schlafentzug. Die meisten Menschen leiden unter chronischem Schlafentzug, der durch Arbeits- oder Lebensbedingungen verursacht ist. Verschiedene Studien zu Schlafentzug zeigen, dass akuter Schlafentzug größeren Einfluss auf Funktionen wie Schläfrigkeit, Stimmung und metabolische, endokrine und immunologische Funktionen hat als chronischer Schlafentzug, und chronischer Schlafentzug generell besser ausgeglichen werden kann (Van Dongen et al. 2003).

#### **Kognitive Störungen**

Kognitive Defizite wie Gedächtnisstörungen, Aufmerksamkeitsstörungen und Störungen der Wortflüssigkeit treten typischerweise bei totaler Schlafdeprivation auf (Durmer et al. 2005). Man muss also erst eine gewisse Zeit lang wach gewesen sein und eine kritische Wachseins-Periode überschritten haben, bevor es zu diesen kognitiven Defiziten kommt (Van Dongen et al. 2003). Überraschenderweise werden solche Defizite auch beobachtet, wenn die totale Schlafdeprivation erst zwei Tage nach dem Lernen erfolgt (Smith, 2001). Lerninhalte sind demnach auch noch längere Zeit nach dem Lernen angreifbar und noch

nicht vollständig gefestigt. Besonders das prozedurale Gedächtnis reagiert sehr empfindlich auf totale Schlafdeprivation (Smith, 1995). Dieser Effekt ist allerdings auch schon bei der partiellen Schlafdeprivation erkennbar, wobei diese zusätzlich mit Stimmungsschwankungen einhergeht. Auch nach langen Episoden von chronischer Schlafdeprivation oder nach andauernder Schlaffragmentation wie z.B. bei OSAS (Obstruktives Schlaf-Apnoe-Syndrom) und dem Restless-legs-Syndrom kommen solche kognitiven Defizite vor. Für diese kognitiven Defizite scheinen sowohl cortikale als auch subcortikale Veränderungen verantwortlich zu sein (Durmer et al. 2005) und sind als EEG-Veränderungen erkennbar.

### **Wann beginnt die Schlafdeprivation?**

Horne teilt den Schlaf in zwei verschiedene Typen ein: den „obligatorischen Kernschlaf“, der zur Reparatur und Homeostase beiträgt und zwischen 4 und 6 Stunden dauert (Slow wave activity) und auf jeden Fall notwendig ist, und den „optionalen oder fakultativen Schlaf“. Wichtig für den Kernschlaf ist, dass dieser Schlaf erstens ungestört und zweitens von guter Qualität ist (Van Dongen et al. 2003). Für junge Erwachsene scheint eine Schlafdauer von 8 bis 9 Stunden angemessen, allerdings sind „interindividuelle Unterschiede“ zu beachten. So benötigt nicht jeder Mensch gleich viel Schlaf und nicht jeder wird durch Schlafdeprivation gleich stark beeinflusst (Van Dongen et al. 2003). Ob ein Mensch zu wenig Schlaf bekommt oder nicht, wird dadurch definiert, ob er tagsüber müde und schläfrig ist und ob er in seiner freien Zeit (am Wochenende) durch längeres Schlafen sein Schlafdefizit ausgleichen muss. Typische Marker für die Schlafdeprivation sind sowohl „errors of omission“, wenn der Proband zu langsam reagiert, als auch „errors of commission“, wenn der Proband ohne Stimulus oder auf einen falschen Stimulus reagiert (Williams et al. 1959; Doran et al. 2001). Im Wachzustand können außerdem  $\alpha$ - (alpha) und  $\theta$ - (theta) Aktivitäten nachweisbar sein (Born et al. 2006). Außerdem ist die Schlaflatenz deutlich herabgesetzt, so dass man sehr viel schneller einschläft und dann ein größerer Anteil an Tiefschlaf aufgezeichnet werden kann (Durmer et al. 2005; Van Dongen et al. 2003). So kann es auch zu dem gefährlichen Sekundenschlaf kommen (Durmer et al. 2005), der die Ursache für unzählige Unfälle sein dürfte.

#### **1.4.4. Schlaf und False Memories**

Es gibt zwei Möglichkeiten, warum es zu False Memories kommt: entweder aufgrund einer Störung bei der Konsolidierung während des Schlafes oder durch eine Störung bei der Abfrage z.B. auf Grund von Schlafdeprivation. Dass die Konsolidierung zu False Memories führen kann, zeigt eine Studie von Payne et al. (2009). Darin wiesen Probanden, die nach dem Lernen von DRM-Listen geschlafen hatten, signifikant mehr False Memories auf als Probanden, die nach dem Lernen nicht geschlafen hatten. Anscheinend hat der Schlaf sogar einen noch größeren Einfluss auf False Memories als auf richtige Antworten (Hits), da er eine qualitative Veränderung von Gedächtnisinhalt herbeiführen kann (Wagner et al. 2004). In der Studie von Blagrove (1996) wird der Zusammenhang zwischen Schlafdeprivation und False Memories untersucht. Darin sollten die schlafdeprivierten Probanden eine Geschichte anhören, diese im Free Recall wiedergeben und anschließend Fragen über die Geschichte beantworten. Bezüglich ihrer Antworten bekamen sie ein negatives Feedback und sollten bei der nächsten Abfrage die Suggestivfragen noch genauer beantworten. Die Probanden zeigten eine deutlich reduzierte Kritikfähigkeit, so dass sie schlechter zwischen richtiger und falscher, suggerierter Erinnerung unterscheiden konnten. Gleichzeitig zeigten sie eine erhöhte Bereitschaft, Suggestivfragen als wegweisend anzunehmen und eine erhöhte Beeinflussbarkeit in ihrer Entscheidung, besonders nachdem sie das negative Feedback erhalten hatten.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Entstehung von False Memories scheint die Intelligenz zu sein (Gudjonsson, 1991, 1992). So wird angenommen, dass Leute mit höherer Intelligenz sich weniger durch Suggestivfragen beeinflussen lassen und mehr auf die Richtigkeit des eigenen Wissens vertrauen. In der Studie von 2000 beschreiben Blagrove et al., dass Probanden nach Schlafdeprivation ihr eigenes Wissen und ihre Leistungsfähigkeit unterschätzen und sich sehr unsicher diesbezüglich sind, so dass sie sich wiederum sehr von leitenden Fragen beeinflussen lassen, ähnlich einem Zustand der Hypnose (Sheehan, Grigg, and McCann, 1984). Dieses Verhalten führt allerdings in diesem Versuch zu Fehlern und schließlich zu falscher Erinnerung.

Wie sich bei der Studie „Sleep Loss Produces False Memories“ von Diekelmann et al. (2008) herausstellte, werden besonders dann False Memories gebildet, wenn eine Schlafdeprivation direkt vor der Abfrage stattgefunden hat - unabhängig davon, ob direkt in der Nacht davor oder schon in der vorhergehenden gelernt wurde. Als Ursache gilt eine Veränderung in der Hirnfunktion bei Schlafdeprivation, nämlich insofern, als sich bei

Schlafdeprivation die ERPs (Event Related Potentials) im präfrontalen Cortex (PFC) auf ungünstige Art und Weise verändern (Curran et al. 2001). Dadurch wird der präfrontale Cortex beeinträchtigt, welcher normalerweise dafür sorgt, dass möglichst wenige False Memories entstehen (Schacter & Slotnick, 2004; Curran et al. 2001), und die Probanden haben größere Mühe bei der Entscheidung, ob ein Wort tatsächlich vorkam oder nur eingebildet war (Reality Monitoring) (Johnson et al. 1993; Horne, 1993; Diekelmann et al. 2008).

Außerdem werden False Memories vermehrt gebildet, wenn die Aufmerksamkeit bei der Abfrage besonders niedrig ist (Diekelmann et al. 2008). Wie die Studie auch zeigt, kann Coffein, ein Adenosin-Rezeptor-Antagonist, die Anzahl von False Memories nach Schlafdeprivation verringern. Der Proband gibt an, weniger schläfrig und dafür aufmerksamer, aktiver und motivierter zu sein (Diekelmann et al. 2008). Allerdings scheint nach dieser Studie der Schlaf wider Erwarten keinen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung von False Memories zu haben. Es wäre allerdings möglich, dass dieses Ergebnis von der Art der Abfrage abhängig ist. Hier wurde die Recognition-Abfrage angewandt, bei der den Probanden am Computer verschiedene Wörter angeboten werden und sie entscheiden sollen, ob sie ein Wort schon kennen oder ob es sich um ein neues Wort handelt. Es wird hierdurch also lediglich das Erkennungsgedächtnis (Recognition Memory) abgefragt. In einigen Studien wird dazu die Vermutung ausgesprochen, dass der Schlaf womöglich auf das Erkennungsgedächtnis keinen besonders großen Einfluss hat. Dagegen könnte die freie Abfrage (Free Recall) durchaus von Schlaf abhängig sein (Drosopoulos et al. 2005; Wagner et al. 2007). Bei der freien Abfrage erhalten die Probanden keine Gedächtnishilfe durch vorgegebene Wörter, sondern müssen die Wörter selbst produzieren. So ist eine viel größere Gedächtnisleistung nötig. Es müssen eigene Gedächtnishilfen gebildet werden und so können deutlich mehr Fehler und False Memories auftreten. Eine Erinnerung müsste beispielsweise viel mehr mit vorherrschendem Wissen abgeglichen werden und anschließend bei der Konsolidierung im Schlaf mithilfe des Hippocampus in dieses Wissen integriert werden (Gardiner, 1988; Kahana et al. 2005). Dazu konnten Payne et al. 2009 nachweisen, dass die freie Abfrage tatsächlich von Schlaf abhängig ist.

## **1.5. Fragestellung und Hypothese**

Vorgängerstudien haben gezeigt, dass der Schlaf offenbar keinen Einfluss auf die Bildung von False Memories hat, wenn das Erkennungsgedächtnis (Recognition Memory) getestet

wird. Nach Schlafdeprivation waren die False Memories dagegen signifikant erhöht (Diekelmann et al. 2008). Bei Anwendung der freien Abfrage (Payne et al. 2009) waren die False Memories nach dem Schlaf allerdings durchaus erhöht im Vergleich zu einer Gruppe von Probanden, die nach dem Lernen wach geblieben waren. Wenn nun bei der Abfrage nicht das Erkennungsgedächtnis abgefragt wird, sondern die Probanden durch freies Abfragen auf ihren Lernerfolg geprüft werden, müsste ein deutlicher Zusammenhang zwischen Schlaf, Gedächtnisleistung und False Memories nachweisbar sein. Auch die Schlafdeprivation müsste bei der freien Abfrage aufgrund einer Beeinträchtigung des präfrontalen Cortex das Gedächtnis nachhaltig beeinflussen und zu einer erhöhten Anzahl von False Memories führen.

Wir wollen mit unserer Studie untersuchen, ob und wie Schlaf und Schlafdeprivation unter der Verwendung einer freien Abfrage die Anzahl der False Memories erhöhen können.

Unsere Hypothese ist, dass die Probanden sowohl nach Schlaf als auch nach Schlafdeprivation mehr False Memories aufweisen als nach einer wachen Zeit während des Tages.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Versuchspersonen**

Insgesamt nahmen 56 Probanden an der Studie teil, so dass jede der drei Gruppen aus 18 oder 19 männlichen und weiblichen Probanden bestand (Schlaf: N=18, Wach: N=18, Schlafdeprivation: N=19). Die Geschlechter sind mit 28 weiblichen und 27 männlichen Probanden sehr gleichmäßig verteilt. Es lässt sich erkennen, dass bei der Kategorie Nachtwach etwas mehr männliche Probanden vertreten sind (11 von insgesamt 19 Probanden). In den beiden anderen Gruppen sind dafür jeweils 10 von insgesamt 18 Probanden weiblich. Die Voraussetzung an der Studie teilnehmen zu dürfen, war ein Alter zwischen 18 und 35 Jahren. Die tatsächliche Spannweite des Alters der Probanden lag zwischen 18 und 33 Jahren. Im Mittel waren die Probanden 22,8 Jahre alt. In der Nachtwach-Gruppe lag das mittlere Alter bei 23,1 Jahren in der Schlaf-Gruppe bei 23,4 Jahren, in der Tagwach-Gruppe waren die Probanden im Durchschnitt etwas jünger mit 21,9 Jahren. Dieser Altersunterschied zwischen den drei Gruppen ist mit  $p = 0,331$  allerdings nicht signifikant.

Weitere Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie war ein regelmäßiger Schlafrhythmus von etwa 8 Stunden Schlaf pro Nacht. So durften die Probanden keine Schichtarbeiten und Nachtdienste in den letzten 3 Wochen vor dem Versuch gemacht haben. Daneben sollten die Probanden deutsch als Muttersprache sprechen und die allgemeine Hochschulreife besitzen, um ein einheitliches Bildungsniveau zu garantieren. Außerdem sollten die Probanden Nichtraucher sein.

Ausschlusskriterien waren Medikamenteneinnahmen (außer der Pille) und schwere akute oder chronische Erkrankungen, insbesondere im neurologischen und psychiatrischen Bereich. Des Weiteren wurde den Probanden nahe gelegt, am Versuchstag vor 8 Uhr aufzustehen und keinen Mittagsschlaf zu machen. Sie sollten normale Mahlzeiten zu sich nehmen und keine außergewöhnlichen körperlichen und geistigen Anstrengungen bestreiten wie etwa eine Prüfung oder einen Marathonlauf. Alkohol und Coffein waren am Versuchstag nicht erlaubt.

Die Untersuchung wurde von der Ethikkommission der Universität zu Lübeck genehmigt. Alle Versuchsteilnehmer wurden über den Ablauf der Studie aufgeklärt und erteilten schriftlich ihr Einverständnis. Die Probanden erhielten eine Aufwandsentschädigung. Zur Fragestellung False Memories bekamen die Probanden vor den Versuchen keine Informationen.

## **2.2. Versuchsdesign**

Bei der Studie handelt es sich um ein Between-Subject-Design. Jeder Proband nahm an einer von drei Experimentalbedingungen teil. So wurden drei Gruppen à 18 oder 19 Probanden (Schlaf: N=18, Tagwach: N=18, Nachtwach: N=19) untersucht. Die Gruppe Tagwach kam morgens zum Lernen, ging dann tagsüber ihrem gewohnten Alltag nach und wurde abends nach 9 Stunden wieder auf die gelernten Wörter hin abgefragt. Die Gruppe Nachtwach kam abends zum Lernen, blieb dann diese Nacht wach und wurde am nächsten Morgen ebenfalls nach 9 Stunden wieder abgefragt. Die Gruppe Schlaf kam abends zum Lernen, schlief die Nacht im Schlaflabor und wurde am nächsten Morgen ebenfalls abgefragt. Diejenigen Probanden, die noch nie im Schlaflabor geschlafen hatten, kamen vor der Versuchsnacht zu einer Probenacht, um sich an das Schlaflabor und das Schlafen mit Elektroden zu gewöhnen. Erst nach einer solchen Probenacht durften die Schlafprobanden an der Versuchsnacht teilnehmen. So sollte ein möglichst guter, tiefer Schlaf bei den Probanden erzielt werden.

### **2.3. Versuchsablauf**

Die Probanden der ersten Gruppe (Schlaf) trafen um 21 Uhr im Schlaflabor ein und wurden gebeten, zunächst die Einverständniserklärung und den Fragebogen zu den Probandendaten auszufüllen. Nachdem sie sich bettfertig gemacht hatten, wurden die Elektroden geklebt: Eine Erdungselektrode auf den Nasenrücken, eine Referenzelektrode auf die Stirn, zwei EOG-Elektroden (links am Oberlid und rechts am Unterlid), zwei EMG-Elektroden (links und rechts am Kinn) und zwei EEG-Elektroden an Position C3 und C4. Ab circa 22 Uhr wurden die Stanford Schläfrigkeitsskala, der Fragebogen zur Befindlichkeit und der Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT) von den Probanden bearbeitet (siehe Anhang). Dadurch sollte die aktuelle Schläfrigkeit und Motivation der Probanden festgestellt werden. Bei den folgenden acht DRM- (Deese, Roediger & McDermott) Wortlisten wurde den Probanden nahe gelegt, sich die folgenden Wortlisten genau anzuhören und zu versuchen, sich diese zu merken. Diese Wortlisten wurden von einer männlichen Tonband-Stimme vorgelesen. Um 23 Uhr gingen die Probanden zu Bett und nach einigen Elektrodentests (1: Augen hoch und runter; 2: Augen links und rechts; 3: mit den Zähnen knirschen), wurde das Licht ausgemacht. Um 7 Uhr am nächsten Morgen wurden die Probanden wieder geweckt und das Licht angeschaltet. Anschließend, nachdem die Elektroden entfernt waren, wurden um 7.30 Uhr die am Abend zuvor gelernten Wortlisten schriftlich abgefragt. Dazu erhielten die Probanden ein leeres Blatt Papier und schrieben alle Wörter auf, bei denen sie noch einigermaßen sicher waren, dass sie tatsächlich in den Wortlisten vorkamen. Sie sollten nicht raten. Für diese freie Abfrage hatten die Probanden soviel Zeit, wie sie wollten. Nachdem die Probanden die Abfrage abgeschlossen hatten, wurden erneut ihre Befindlichkeit und Schläfrigkeit mit der Stanford Schläfrigkeitsskala, dem Befindlichkeitsfragebogen und dem Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT) geprüft. Zum Schluss sollten die Probanden mithilfe des Schlaffragebogens (SF-A-R) angeben, wie sie geschlafen hatten und ob sie noch einmal über die Wortlisten nachgedacht oder mit jemandem darüber gesprochen hatten. Sie sollten eine Meinung zum Ziel der Studie abgeben. Danach durften sie nach Hause gehen.

#### **Gruppe 1 – Schlaf**

- |           |  |
|-----------|--|
| 21 Uhr    | Eintreffen im Schlaflabor, Ausfüllen der Einverständniserklärung und des Fragebogens zu den Probandendaten |
| 21.15 Uhr | Bettfertig machen und Elektroden kleben  |

22 Uhr	Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
22.20 Uhr	Anhören und Lernen der Wortlisten / FM Learning
23 Uhr	Ins Bett gehen und Licht aus
7 Uhr	Wecken, Elektroden entfernen
7.30 Uhr	Abfrage schriftlich / FM Free Recall
8 Uhr	Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
8.10 Uhr	Schlaffragebogen (SF-A-R) und Fragebogen zum Ziel der Studie

Die Probanden der zweiten Gruppe (Nachtwach) trafen um 22 Uhr ein und füllten zunächst die Einverständniserklärung und den Fragebogen zu den Probandendaten aus. Anschließend wurde ihre Schläfrigkeit und Befindlichkeit mithilfe der Stanford Schläfrigkeitsskala, des Fragebogens zur Befindlichkeit und des Regensburger Wortflüssigkeitstests (RWT) geprüft, bevor sie die Wortlisten anhören und lernen sollten. Anschließend blieben die Probanden der Gruppe 2 die Nacht über wach, wobei sie Spiele spielen, Filme anschauen, etwas lesen und eine Kleinigkeit (nichts Süßes wie z.B. Schokolade) essen und trinken durften. Alkohol, Coffein und Nikotin waren auch weiterhin nicht erlaubt. Auch die Probanden der zweiten Gruppe wurden um 7 Uhr mittels freier Abfrage nach den Wörtern der Wortlisten gefragt. Auch sie gaben anschließend wieder ihre Schläfrigkeit und Motivation mithilfe der Stanford Schläfrigkeitsskala, des Fragebogens zur Befindlichkeit und des Regensburger Wortflüssigkeitstests (RWT) an. Zusätzlich hielten sie im Fragebogen zur Nachtaktivität fest, was sie während der Nacht gemacht hatten, ob sie noch einmal über die Wortlisten nachgedacht oder mit jemandem darüber gesprochen hatten (was ihnen eigentlich untersagt war) und was ihrer Meinung nach das Ziel der Studie sei. Anschließend durften die Probanden nach Hause gehen.

### **Gruppe 2 – Nachtwach**

22 Uhr	Eintreffen im Schlaflabor, Ausfüllen der Einverständniserklärung und des Fragebogens zu den Probandendaten
22.15 Uhr	Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
22.20 Uhr	Anhören und Lernen der Wortlisten / FM Learning

- 7 Uhr Abfrage schriftlich / FM Free Recall
- 7.20 Uhr Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
- 7.25 Uhr Fragebogen zur Nachtaktivität und Fragebogen zum Ziel der Studie

Die Probanden der dritten Gruppe (Tagwach) trafen um 9 Uhr im Schlaflabor ein und füllten zuerst die Einverständniserklärung und den Fragebogen zu den Probandendaten aus. Nachdem auch die Probanden dieser Gruppe die Stanford Schläfrigkeitsskala, den Fragebogen zur Befindlichkeit und den Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT) bearbeitet hatten, hörten sie sich die Wortlisten genau an und versuchten, sich diese zu merken. Anschließend gingen die Probanden ihren normalen Tagesaktivitäten nach und trafen 9 Stunden später um 18 Uhr wieder zur Abfrage im Schlaflabor ein. Auch sie unterzogen sich der freien Abfrage und gaben anschließend ihre Befindlichkeit mithilfe der Stanford Schläfrigkeitsskala, des Fragebogens zur Befindlichkeit und des Regensburger Wortflüssigkeitstests (RWT) an. Nachdem sie den Fragebogen zur Tagesaktivität beantwortet hatten und Angaben zu den Fragen gemacht hatten, ob sie mit jemandem über die Wortlisten gesprochen oder noch einmal darüber nachgedacht hatten und ob sie eine Idee zum Ziel der Studie hätten, durften auch sie wieder nach Hause gehen.

### **Gruppe 3 – Tagwach**

- 9 Uhr Eintreffen im Schlaflabor, Ausfüllen der Einverständniserklärung und des Fragebogens zu den Probandendaten
- 9.15 Uhr Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
- 9.20 Uhr Anhören und Lernen der Wortlisten / FM Learning
- 18 Uhr Eintreffen im Schlaflabor, Abfrage schriftlich / FM Free Recall
- 18.20 Uhr Stanford Schläfrigkeitsskala, Fragebogen zur Befindlichkeit und Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)
- 18.25 Uhr Fragebogen zur Tagesaktivität und Fragebogen zum Ziel der Studie

## 2.4. Aufgaben

### 2.4.1. Hauptaufgaben

Die Aufgaben, denen sich die Probanden stellten, bestanden darin, sich die DRM-Wortlisten genau anzuhören, ohne etwas mitzuschreiben und zu versuchen, sich diese Wörter zu merken. Bei der folgenden Abfrage sollten sie möglichst viele Wörter dieser Wortlisten auswendig aufschreiben (Free Recall).

Beim **DRM** werden den Probanden die Wortlisten vorgelesen. Jedes Wort wird dabei nur einmal vorgelesen. In der vorliegenden Studie wurden insgesamt 8 Listen á 12 Wörter verwendet und die Lautstärke konnte von den Probanden selbst korrigiert werden. Beim DRM leuchtet am Computer zunächst drei Sekunden lang auf, um welche Liste es sich handelt (z.B. Liste 1), anschließend werden die einzelnen Wörter von einer männlichen Tonbandstimme deutlich vorgelesen. Pro Wort werden 3 Sekunden veranschlagt. Nach jeder Liste haben die Probanden 10 Sekunden Zeit, noch einmal über die in der vorherigen Liste vorkommenden Wörter nachzudenken. So können gegebenenfalls Assoziationen ermöglicht werden. Diese Listen zielen immer mehr oder weniger deutlich auf ein Schlüsselwort ab, das unser False-Memory-Wort (FM) ist. Die Probanden können beispielsweise in Liste 1 das FM schwarz hinzu assoziieren, wenn sie Wörter wie weiß, dunkel, Nacht, Beerdigung und Tod hören. Indem sie sich diese Wörter anhören, stellen sie sich möglicherweise ein großes Bild vor, bei dem unausweichlich schwarz mitspielt.

Bei der Abfrage des **FM Free Recall** haben die Probanden soviel Zeit, wie sie möchten, um alle Wörter der Lernaufgabe zu notieren. Dabei werden sie genau instruiert, nur solche Wörter aufzuschreiben, bei denen sie sich sicher sind, dass diese tatsächlich in einer der Listen vorkamen.

### 2.4.2. Kontrollvariablen

Als Kontrollvariablen dienen die Angaben zur Schläfrigkeit, die mithilfe der Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) und des Befindlichkeitsfragebogens festgehalten werden und die Ergebnisse des Regensburger Wortflüssigkeitstests (RWT), der in erster Linie die Konzentrationsfähigkeit der Probanden aufzeigt. Außerdem zählen zu den Kontrollvariablen Angaben zur Tag- bzw. Nachtaktivität, die von den wach gebliebenen Probanden gemacht wurden und Angaben zur Schlafqualität von den Schlaf-Probanden.

Auch die Meinungen zum Ziel der Studie und Angaben darüber, ob die Probanden noch einmal über die Wortlisten nachgedacht oder mit jemandem darüber gesprochen haben, werden den Kontrollvariablen beigelegt.

Die **Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS)** soll erfassen, wie munter sich die Probanden zum Versuchszeitpunkt fühlen. Dabei kann mithilfe mehrerer Punkte die jeweilige Situation eingeschätzt werden. Die Spanne der Angabemöglichkeiten reicht von „aufmerksam und hellwach“ über „konzentrationsfähig“, „müde und schlapp“, „müde und verlangsamt“ bis zu „ankämpfen gegen den Schlaf“, „traumähnlichen Gedanken“ und schlussendlich zu „schlafen“.

Der **Befindlichkeitsfragebogen** soll erfassen, wie aktiviert, angespannt, müde, motiviert und konzentriert sich die Probanden gerade fühlen. Sie haben die Möglichkeit, ihren aktuellen Zustand in einer fünfstufigen Likert-Skala zwischen „gar nicht“ und „sehr“ anzugeben.

Der **Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)** dient der Erfassung der aktuellen Konzentrationsfähigkeit und Abrufleistung aus dem Langzeitgedächtnis (Aschenbrenner et al. 2000). Dazu sollen die Probanden innerhalb von zwei Minuten möglichst viele Wörter aufschreiben, die mit demselben Anfangsbuchstaben, aber nicht mit dem gleichen Wortstamm beginnen. So wird die aktuelle Fähigkeit der Probanden erfasst, was die Wiedergabe von semantischer Information angeht.

Der **Fragebogen zur Tages- bzw. Nachtaktivität** soll stichwortartig erfassen, was die wachen Probanden in den letzten 9 Stunden gemacht haben. So können einerseits diejenigen Probanden ausgeschlossen werden, die sich nicht an die Regeln gehalten haben, z.B. dennoch einen Mittagsschlaf gemacht haben, andererseits kann eine unterschiedlich gute Gedächtnisleistung dadurch begründet werden.

Die Schlafgruppe machte zusätzlich noch Angaben zur Schlafqualität (**Fragebogen zur Schlafqualität**). Dabei sollte angegeben werden, ob die Probanden sofort einschlafen konnten und falls nicht, woran das lag. Es wurden Einzelheiten zur Einschlafphase abgefragt (Muskelzuckungen in Armen und Beinen und plötzliche, deutliche Bildeindrücke) und ob die Probanden nach dem Einschlafen wieder aufgewacht waren. Falls dies der Fall

gewesen war, sollten sie die Gründe dafür angeben (persönliche / berufliche Probleme, Geräusche im Zimmer oder von draußen, Toilettengang, schlechtes Träumen) und wie lange sie ungefähr wach gewesen waren. Daneben wurde nach Träumen, den Gefühlen dabei und deren ungefähren Inhalten sowie nach Nachtschweiß und Kopfschmerzen gefragt. Zuletzt sollten die Probanden Angaben zur Schlafqualität allgemein (gleichmäßig, tief, gut, entspannt, ungestört, ruhig, ausgiebig), ihrer Situation und Anspannung vor dem Schlafengehen (sorglos, erschöpft, schlafbedürftig, überfordert, ausgeglichen, ruhig, müde, entspannt) machen. Sie gaben an wie anstrengend der vorangegangene Tag für sie gewesen war und wie sie sich am Morgen der Befragung fühlten (ausgeglichen, dösig, tatkräftig, munter, frisch, ausgeschlafen, entspannt). Bei diesen drei letzten Fragen konnten Angaben zwischen „sehr“, „ziemlich“, „mittel“, „wenig“ und „nicht“ gemacht werden.

Beim **Fragebogen zum Ziel der Studie** sollten die Probanden beantworten, ob sie noch einmal über die Wortlisten nachgedacht oder mit jemandem darüber gesprochen hatten und was ihrer Meinung nach das Ziel der Studie sei.

### **2.4.3. Schlafableitungen**

Den Probanden der ersten Gruppe (Schlaf) wurden zur Überwachung des Schlafes acht Elektroden geklebt. Dabei wurde eine Erdungselektrode auf den Nasenrücken, eine Referenzelektrode auf die Stirn, zwei EOG-Elektroden (links am Oberlid und rechts am Unterlid), zwei EMG-Elektroden (links und rechts am Kinn) und zwei EEG-Elektroden an Position C3 und C4 angebracht. Jede Klebestelle wurde zunächst gründlich desinfiziert. Anschließend wurde die Haut mit einer Peelingpaste etwas angeraut, so dass beim nachfolgenden Aufkleben der Elektrode mithilfe der Elektrodenkleber und einer Klebepaste eine optimale Haftung und Leitung erzielt werden konnte. Die Auswertungen der Schlafableitungen wurden mit Hilfe des Computerprogramms SchlafAus vorgenommen.

### **2.5. Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung wurde mithilfe des Programms SPSS 15.0 für Windows angefertigt. Zunächst wurde eine grobe Analyse erstellt. Dabei wurden in der univariaten Varianzanalyse die drei Bedingungen Nachtwach, Tagwach und Schlaf miteinander verglichen. Wenn sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zeigte, wurden post-hoc Einzelvergleiche angeführt (t-Test). Als abhängige Variablen dienten die False

Memories (FM), die Hits (die Probanden haben sich an ein richtiges Wort erinnert) und die False Alarms (FA; wenn die Probanden ein völlig falsches Wort nannten).

Da im Vergleich zur Vorgängerstudie bei dieser Studie unverhältnismäßig viele gute Probanden mit sehr vielen Hits teilnahmen und dadurch die Studien schwer miteinander vergleichbar waren, entschieden wir uns, die Probanden nach der Anzahl ihrer Hits in zwei Gruppen - eine gute (High-Performer) und eine schlechtere Gruppe (Low-Performer) - aufzuteilen. Hierzu gebrauchten wir den Median, der eine Grenze bei 30 Hits setzt. Alle Probanden, die mehr als 30 Hits hatten, wurden der guten Gruppe zugeordnet, die anderen Probanden der schlechteren. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied der Ergebnisse, wenn man die Probanden so anhand ihrer Leistungen in High- (N=27) und Low-Performer (N=28) einteilt. Diese beiden Gruppen werden im Folgenden getrennt voneinander betrachtet. Dafür wurde eine zwei-faktorielle Varianzanalyse durchgeführt, wobei der eine Faktor wiederum aus den drei Bedingungen (FM, Hits und FA) bestand und der zweite Faktor die Unterscheidung zwischen High- und Low-Performern berücksichtigte. Betrachtet man nun einmal die beiden Gruppen betreffs ihrer Zusammensetzung, zeigt sich, dass bei den High-Performern auffallend wenige Probanden aus der Nachtwach-Gruppe stammten (N=5), dagegen bestand die Low-Performer-Gruppe zum größten Teil aus solchen Probanden (N=14). Bei der Tagwach-Gruppe wurden genauso wie bei der Schlaf-Gruppe 11 Probanden der High-Performer-Gruppe zugeordnet und 7 Probanden der Low-Performer-Gruppe. Als Signifikanzniveau wurde  $p = 0,05$  gewählt.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Die abhängigen Variablen**

Den Probanden wurden in dieser Studie DRM- (Deese Roediger McDermott) Wortlisten vorgelesen, die dafür prädisponiert sind, besonders viele False Memories zu produzieren. Jeder einzelnen Wortliste ist dabei ein semantisch assoziiertes Schlüsselwort, das False Memory, zugeordnet, das zwar nicht genannt wird, aber die Wortliste thematisch wiedergibt. Beispielsweise werden in einer Liste unter anderen die Wörter dunkel, Nacht, Beerdigung genannt und das dazugehörige False Memory ist schwarz. Wie oben dargestellt hatten die Probanden bei der freien Abfrage die Möglichkeit richtige Wörter (Hits) anzugeben, die tatsächlich in den Listen vorkamen, sie konnten ein False Memory angeben,

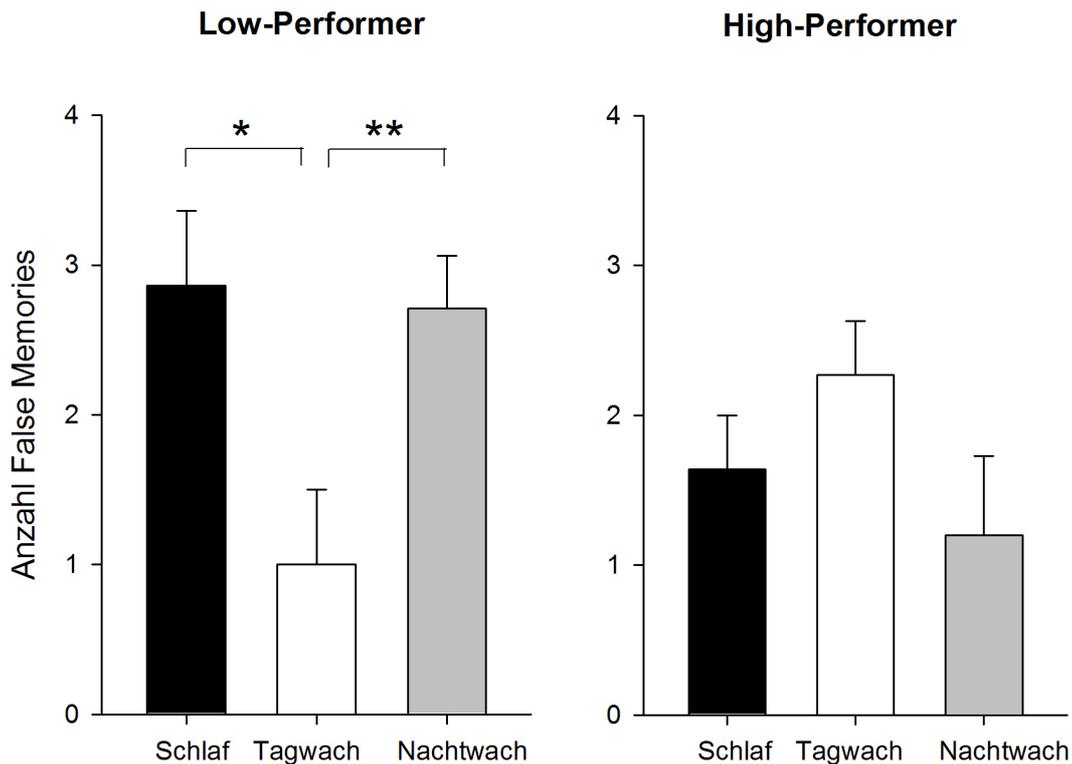
das sie frei dazu assoziiert hatten oder sie konnten ein ganz falsches Wort angeben, welches weder ein False Memory war noch in einer der Listen vorkam (False Alarm). Diese drei Antwortmöglichkeiten False Memories, Hits und False Alarms dienen bei der vorliegenden Studie als abhängige Variablen.

### 3.1.1. Free Recall

Betrachtet man alle Probanden der drei Gruppen Schlaf, Nachtwach und Tagwach, lässt sich betreffs der Anzahl der False Memories beim Free Recall kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen erkennen ( $p = 0,495$ ). Bei der univariaten Varianzanalyse der Hits (richtige Wörter) lässt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Konditionen nachweisen ( $F(2, 49) = 2,07, p = 0,137$ ) (Nachtwach:  $31,34 \pm 2,44$ , Tagwach:  $35,90 \pm 2,27$ , Schlaf:  $34,44 \pm 2,27$ ). Auch bei den False Alarms lässt sich kein signifikanter Unterschied nachweisen ( $F(2, 49) = 0,877, p = 0,423$ ) (Nachtwach:  $3,61 \pm 0,75$ , Tagwach:  $4,31 \pm 0,70$ , Schlaf:  $3,77 \pm 0,70$ ).

Da bei der Gesamtbetrachtung der drei Gruppen Schlaf, Nachtwach und Tagwach keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden konnten, wurden die Probanden nach der Anzahl ihrer Hits in eine gute (High-Performer) Gruppe mit mehr als 30 Hits und eine schlechtere Gruppe (Low-Performer) mit 30 Hits oder weniger aufgeteilt. So bestand die Möglichkeit, eine Interaktion der drei Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach innerhalb der zwei Gruppen High- und Low-Performer beobachten zu können. Betreffs der False Memories ist diese Interaktion signifikant und wird in Abbildung 3 veranschaulicht ( $F(2, 49) = 6,16, p = 0,004$ ).

Werden nun die Low-Performer einzeln betrachtet, zeigt sich in Abbildung 3 ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Versuchsgruppen Schlaf, Nachtwach und Tagwach betreffs der False Memories ( $F(2, 25) = 4,69, p = 0,019$ ). Sowohl die Schlaf-Gruppe als auch die Nachtwach-Gruppe unterscheidet sich bei den Low-Performern signifikant von der Tagwach-Gruppe. So zeigen die Low-Performer der Schlaf-Gruppe  $2,86 \pm 0,70$  False Memories, diejenigen der Tagwach-Gruppe dagegen nur  $1,00 \pm 0,31$  False Memories ( $\star$ ) ( $t(12) = -2,41, p = 0,041$ ). Die Low-Performer der Nachtwach-Gruppe weisen wiederum  $2,71 \pm 0,32$  False Memories auf und unterscheiden sich damit auch signifikant von den Low-Performern der Tagwach-Gruppe ( $\star\star$ ) ( $t(19) = 3,38, p = 0,003$ ). Damit haben die Low-Performer der Tagwach-Gruppe signifikant weniger False Memories als die beiden anderen Gruppen Nachtwach und Schlaf.



**Abbildung 3.** Anzahl der False Memories der drei Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach bei den Low- und High-Performern

Bei den False Memories der High-Performer lässt sich dagegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach nachweisen ( $F(2, 24) = 1,63, p = 0,217$ ). Hier weichen Mittelwert und Standardfehler der Nachtwach-Gruppe mit  $1,20 \pm 0,58$  von denen der anderen beiden Gruppen (Tagwach:  $2,27 \pm 0,27$  und Schlaf:  $1,64 \pm 0,41$ ) ab (siehe Tabelle 1). In Abbildung 3 zeigt sich deskriptiv, dass die 5 Nachtwach-Probanden deutlich weniger False Memories haben als die beiden anderen Gruppen.

Sowohl bei den High- als auch bei den Low-Performern lässt sich weder bei den Hits noch bei den False Alarms zwischen den drei Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach ein signifikanter Unterschied feststellen (Low-Performer: Hits ( $F(2, 25) = 0,395, p = 0,678$ ) False Alarms ( $F(2, 25) = 0,607, p = 0,553$ ); High-Performer: Hits ( $F(2, 24) = 2,029, p = 0,153$ ) False Alarms ( $F(2, 24) = 0,969, p = 0,394$ )). Dabei weisen die High-Performer im Mittel in etwa doppelt so viele Hits auf ( $44,56 \pm 1,93$ ) wie die Low-Performer ( $23,21 \pm 1,87$ ). Auch durch das Korrigieren der Hits, indem man die Anzahl der False Alarms von diesen abzieht, kann kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen Schlaf,

Tagwach und Nachtwach beobachtet werden ( $F(2, 49) = 2,154, p = 0,127$ ) - weder bei den Low-Performern ( $F(2, 25) = 0,377, p = 0,689$ ) noch bei den High-Performern ( $F(2, 24) = 1,896, p = 0,172$ ). Auch bei diesen korrigierten Hits zeigen die High-Performer ( $40,90 \pm 1,92$ ) eine etwa doppelt so große Anzahl wie die Low-Performer ( $19,10 \pm 1,86$ ) ( $p < 0,001$  für absolute Hits und korrigierte Hits) (siehe Tabelle 1).

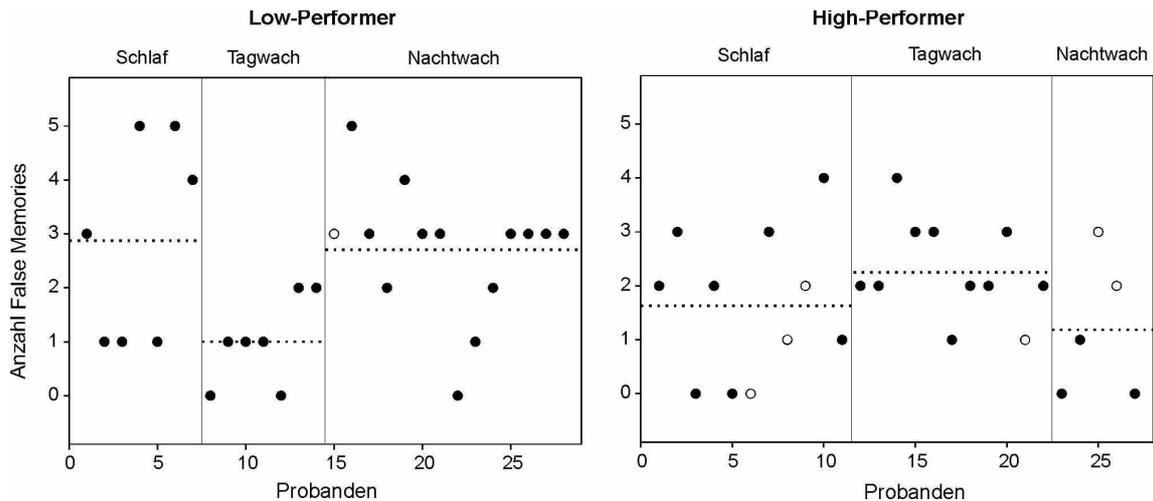
**Tabelle 1.** Ergebnisse des Free Recalls bei den Low- und High-Performern

	Low Performer		
	Schlaf	Tagwach	Nachtwach
False Memories	2,86 +/- 0,50	1,00 +/- 0,50	2,71 +/- 0,35
False Alarms	4,71 +/- 1,25	4,43 +/- 1,25	3,21 +/- 0,88
absolute Hits	25,14 +/- 2,97	21,43 +/- 2,97	23,07 +/- 2,10
korrigierte Hits	20,43 +/- 3,09	17,00 +/- 3,09	19,86 +/- 2,18

	High Performer		
	Schlaf	Tagwach	Nachtwach
False Memories	1,64 +/- 0,36	2,27 +/- 0,36	1,20 +/- 0,53
False Alarms	2,82 +/- 0,73	4,18 +/- 0,73	4,00 +/- 1,08
absolute Hits	43,73 +/- 3,24	50,36 +/- 3,24	39,60 +/- 4,80
korrigierte Hits	40,91 +/- 3,14	46,18 +/- 3,14	35,60 +/- 4,65

korrigierte Hits = absolute Hits – False Alarms

Allerdings ist anzumerken, dass die Low-Performer zwar weniger Hits aufweisen, aber keinesfalls gleichzeitig auch signifikant mehr False Memories produzieren als die High-Performer ( $p = 0,17$ ) (Low-Performer:  $2,32 \pm 0,28$  False Memories im Durchschnitt, High-Performer:  $1,81 \pm 0,23$ ). Diesen Aspekt veranschaulicht die folgende Abbildung 4.



- Probanden hatten eine Vermutung, was das Ziel der Studie betrifft.
- Probanden hatten keine Vermutung zum Ziel der Studie.

**Abbildung 4.** Absolute Anzahl der False Memories bei den Low- und High-Performern

Die Probanden, die mit einem leeren Kreis (○) dargestellt werden, haben im Fragebogen zum Ziel der Studie angegeben, dass sie eine Vermutung in Richtung Erzeugung von False Memories gehabt haben, die Probanden mit ausgefülltem Kreis (●) haben dazu keine Vermutung geäußert. Allerdings lässt sich kein Unterschied erkennen, dass die Probanden mit einer Vermutung bezüglich des Ziels der Studie dadurch weniger False Memories produziert hätten. Die Korrelation zwischen den False Memories und den richtigen Antworten (absolute Hits) beträgt  $r = -0,02$  und hat eine Signifikanz von  $p > 0,80$ , die Korrelation zwischen False Memories und den korrigierten Hits (Anzahl der absoluten Hits minus Anzahl der falsche Antworten) beträgt  $r = -0,09$  bei einer Signifikanz von  $p > 0,50$ .

### 3.1.2. Die Kontrollvariablen

Unter die Analyse der Kontrollvariablen fallen die Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS), der Fragebogen zur Befindlichkeit, welcher Angaben zur Motivation, Konzentration, Aktivität, Angespanntheit und Müdigkeit der Probanden umfasst, und der Regensburger-Wortflüssigkeitstest.

Beim **Regensburger-Wortflüssigkeitstest (RWT)** besteht zwischen den Gruppen Nachtwach und Tagwach ein signifikanter Unterschied, was die Anzahl der Wörter angeht ( $p = 0,012$ ). Dabei haben die Probanden der Nachtwach-Gruppe insgesamt das schlechteste

Ergebnis, diejenigen der Tagwach-Gruppe das beste (siehe Tabelle 2). Im Regensburger-Wortflüssigkeitstest (RWT) konnten die High-Performer mehr Wörter benennen als die Low-Performer (19,92 +/- 1,00 vs. 16,70 +/- 0,96,  $p = 0,024$ ). Ansonsten lässt sich kein signifikanter Unterschied innerhalb der und zwischen den Gruppen erkennen.

Da sich die Angaben zur Befindlichkeit nicht zwischen den High- und Low-Performern unterscheiden, wurde bei der Auswertung nicht weiter zwischen diesen Gruppen differenziert ( $p > 0,27$  für die Interaktionen Schlaf/Tagwach/Nachtwach x High/Low-Performer). Die Angaben der Probanden der Schlaf-Gruppe zeigen, dass diese beim Lernen am schläfrigsten und am wenigsten konzentriert, motiviert und aktiviert waren. Die Probanden der Nachtwach-Gruppe meinten dagegen, beim Lernen weniger schläfrig, motivierter, konzentrierter und aktivierter zu sein als die Schlaf-Gruppe. Am wachsten, am meisten konzentriert, motiviert und aktiviert beim Lernen schätzten sich die Probanden der Tagwach-Gruppe ein (siehe Tabelle 2). Bei der Abfrage waren eindeutig die Probanden der Nachtwach-Gruppe am schläfrigsten und am wenigsten aktiviert, konzentriert und motiviert. Am wenigsten schläfrig und am meisten aktiviert, konzentriert und motiviert waren wiederum die Probanden der Tagwach-Gruppe (siehe Tabelle 2). Keine der Angaben zur Befindlichkeit kann allerdings in einen signifikanten Zusammenhang mit der Anzahl an False Memories gebracht werden ( $p = 0,12$ ;  $-0,21 < r < 0,03$ ).

### **Signifikante Ergebnisse:**

Die **Analyse der Stanford-Schläfrigkeitsskala** ergibt, dass sich die Schläfrigkeit signifikant zwischen allen drei Gruppen unterscheidet. Ein signifikanter Unterschied besteht sowohl innerhalb einer Gruppe, was die zwei verschiedenen Zeitpunkte des Tests betrifft ( $p = 0,000$ ), als auch zwischen den Gruppen beim Lernen und bei der Abfrage ( $p = 0,000$ ). Werden mittels des t-Tests die Nachtwach-Gruppe (Lernen: 2,69, Abfrage: 4,66) und die Tagwach-Gruppe (Lernen: 2,17, Abfrage: 2,23) miteinander verglichen, ergibt sich ein weiterer signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (Lernen:  $p = 0,006$ , Abfrage:  $p = 0,000$ ). Ebenso besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Nachtwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe (Lernen: 3,31, Abfrage: 2,42) (Lernen:  $p = 0,049$ , Abfrage:  $p = 0,000$ ) und zwischen der Tagwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe beim Lernen ( $p = 0,001$ ).

Bei der **Motivation** ergab sich wiederum ein signifikanter Unterschied innerhalb der einzelnen Gruppen zu den verschiedenen Zeitpunkten ( $p = 0,021$ ) und auch zwischen den verschiedenen Gruppen ( $p = 0,001$ ). Die drei Gruppen unterscheiden sich also auch deutlich

hinsichtlich ihrer Motivation(entwicklung). Werden die Nachtwach-Gruppe und die Tagwach-Gruppe mittels t-Test miteinander verglichen, ergibt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Motivation von  $p = 0,006$  beim Lernen und  $p = 0,000$  bei der Abfrage. Zwischen der Tagwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe lässt sich beim Lernen ein signifikanter Unterschied nachweisen ( $p = 0,007$ ), zwischen der Nachtwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe bei der Abfrage ( $p = 0,000$ ). Insgesamt sind die Probanden der Tagwach-Gruppe am meisten ( $3,96 \pm 0,17$ ), die der Nachtwach-Gruppe am wenigsten ( $2,96 \pm 0,18$ ) motiviert. Besonders bei der Abfrage ist die Motivation der Nachtwach-Gruppe im Vergleich zum Lernen deutlich abgesunken (Lernen:  $3,26 \pm 1,05$ , Abfrage:  $2,53 \pm 0,77$ ).  
 Betreffs der **Konzentration** zeigt sich dasselbe Bild wie bei der Motivation. Hier besteht mit  $p = 0,032$  ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der verschiedenen Gruppen. Dieser Unterschied liegt zwischen der Nachtwach-Gruppe und der Tagwach-Gruppe beim Lernen ( $p = 0,022$ ) und bei der Abfrage ( $p = 0,000$ ) sowie zwischen der Tagwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe beim Lernen ( $p = 0,027$ ) und der Nachtwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe bei der Abfrage ( $p = 0,000$ ).

Beim **Aktivitätsniveau** zeigt sich sowohl innerhalb der Gruppen ( $p = 0,000$ ) als auch zwischen den drei Gruppen ( $p = 0,001$ ) ein signifikanter Unterschied. Beim Lernen zeigt sich eine Signifikanz im Vergleich der Tagwach-Gruppe und der Schlaf-Gruppe ( $p = 0,006$ ). Bei der Abfrage unterscheiden sich sowohl die Nachtwach-Gruppe und die Tagwach-Gruppe ( $p = 0,000$ ) als auch die Nachtwach-Gruppe und die Schlaf-Gruppe ( $p = 0,000$ ).

**Tabelle 2.** Mittelwerte und Standardfehler der Befindlichkeit und Wortflüssigkeit

	Lernen		
	Schlaf	Tagwach	Nachtwach
Wortflüssigkeit	18,85 +/- 1,34	18,68 +/- 1,34	15,99 +/- 1,45
Schläfrigkeit	3,31 +/- 0,20	2,17 +/- 0,20	2,69 +/- 0,18
Aktivität	2,79 +/- 0,20	3,62 +/- 0,20	3,24 +/- 0,21
Konzentration	3,01 +/- 0,15	3,65 +/- 0,15	3,30 +/- 0,16
Motivation	3,26 +/- 0,21	4,14 +/- 0,20	3,31 +/- 0,22

	Abfrage		
	Schlaf	Tagwach	Nachtwach
Wortflüssigkeit	18,71 +/- 1,19	20,66 +/- 1,19	16,96 +/- 1,29
Schläfrigkeit	2,42 +/- 0,24	2,23 +/- 0,24	4,66 +/- 0,27
Aktivität	3,29 +/- 0,19	3,51 +/- 0,19	2,06 +/- 0,21
Konzentration	3,46 +/- 0,18	3,77 +/- 0,18	2,14 +/- 0,19
Motivation	3,53 +/- 0,21	3,77 +/- 0,21	2,61 +/- 0,22

### **Nicht signifikante Ergebnisse:**

Die beiden Gruppen Nachtwach und Schlaf unterscheiden sich beim Lernen betreffs der Motivation, Konzentration und Aktivität nicht signifikant ( $p \geq 0,140$ ). Beim Vergleich der Gruppen Tagwach und Schlaf lässt sich bei der Abfrage in keiner der Angaben zur Befindlichkeit (Schläfrigkeit, Aktivität, Motivation, Konzentration) ein signifikanter Unterschied feststellen ( $p > 0,300$ ). Die Gruppen Tagwach und Nachtwach unterscheiden sich lediglich betreffs der Aktivität beim Lernen nicht voneinander ( $p = 0,093$ ).

### **3.2. Schlafparameter**

Die EEG-Aufzeichnungen der Probanden der Schlaf-Gruppe ergeben, dass die Schlaf- Probanden im Durchschnitt insgesamt 453,00 +/- 7,25 min geschlafen hatten. Wach waren die Probanden 2,06 +/- 0,61 %, im Schlafstadium S1 3,50 +/- 0,56 % und im Schlafstadium S2: 55,56 +/- 1,57 %. Der Tiefschlaf machte einen Anteil von 17,41 +/- 1,33 % aus, der REM-Schlaf einen Anteil von 20,13 +/- 1,20 %. Damit haben die Schlaf-Probanden eine normale Verteilung der Schlafstadien während ihrer Versuchsnächte. Bei diesen Angaben unterscheiden sich High- und Low-Performer mit  $p > 0,12$  für alle Schlafparameter nicht signifikant.

## 4. Diskussion

### 4.1. Beantwortung der Fragestellung

Wie bereits bekannt ist, beeinflusst der Schlaf die Gedächtnisleistung entscheidend. So wird durch Schlaf die Bildung von neuem Gedächtnis im Rahmen der Konsolidierung verstärkt und verbessert, wie verschiedene Studien bereits darstellen konnten (Peigneux et al. 2001; Smith, 2001; Stickgold et al. 2001). Unsere Hypothese, dass sowohl der Schlaf als auch die Schlafdeprivation dazu führen, dass vermehrt False Memories entstehen, gründet sich auf verschiedenen Beobachtungen. Zum einen ist der Prozess der Konsolidierung ein aktiver Prozess, der eine Erinnerung verstärken, aber auch verändern kann und dadurch auch Fehler auftreten lassen kann. So werden nach dem Schlafen nicht nur vermehrt richtige Erinnerungen gebildet und die Gedächtnisleistung verbessert, sondern es können auch gleichzeitig vermehrt False Memories auftreten. In Vorgängerstudien (Tilley und Empson 1978; Smith 2001; Wagner et al. 2004; Payne et al. 2006, 2009) konnte diese Hypothese schon teilweise bestätigt werden. Dies soll nun mit der vorliegenden Studie genauer untersucht werden.

Auch durch Schlafdeprivation werden vermehrt False Memories gebildet (Gudjonsson 1991, 1992; Blagrove 1996, 2000; Diekelmann et al. 2008, 2009b). In diesem Fall begründet sich die erhöhte Anzahl der False Memories vermutlich auf einem anderen Prozess (Diekelmann et al. 2008). Hierbei spielen wohl besonders die kognitiven Defizite durch die Schlafdeprivation bei der Abfrage die entscheidende Rolle (Curran et al. 2001). Das Ziel der vorliegenden Studie ist, herauszufinden, ob sowohl durch Schlaf als auch durch Schlafdeprivation unter Verwendung von DRM (Deese, Roediger & McDermott) - Wortlisten bei freier Abfrage vermehrt False Memories gebildet werden. Dabei ist entscheidend, dass bei der Abfrage insbesondere die freie Abfrage angewandt wird, die, anders als die Recognition-Abfrage, von Schlaf abhängig zu sein scheint (Drosopoulos et al. 2005; Wagner et al. 2007; Payne et al. 2009).

In der vorliegenden Studie konnte bei der Betrachtung aller Probanden kein signifikanter Effekt von Schlaf oder Schlafdeprivation auf die Bildung von False Memories nachgewiesen werden. Wenn man die Probanden aber nach ihrem individuellen Level in High- und Low-Performer unterteilt, zeigt sich für die Low-Performer durchaus ein signifikanter Unterschied. Hier scheint unsere Hypothese bestätigt, dass durch Schlaf und Schlafdeprivation vermehrt False Memories produziert werden. Hierbei unterscheiden sich

die drei Gruppen Schlaf, Wach und Tagwach insofern, als die Tagwach-Gruppe signifikant weniger False Memories aufweist als die beiden anderen Gruppen Nachtwach und Schlaf. Diese Signifikanz lässt sich dadurch erklären, dass die Schlaf-Gruppe durch die Gedächtniskonsolidierung und aufgrund gebildeter Assoziationen nicht mehr zwischen tatsächlich gehörten und frei assoziierten Wörtern unterscheiden kann (Lindsay & Johnson, 1989; Johnson, 1993; Loftus, 1997). Bei der Nachtwach-Gruppe lässt sich dieses Ergebnis durch Mechanismen der Schlafdeprivation und die dadurch entstandenen kognitiven Defizite erklären (Curran et al. 2001). Für die High-Performer zeigt sich dagegen kein signifikanter Unterschied.

Zur Unterteilung in High- und Low-Performer ist wichtig zu wissen, dass es sich bei den Low-Performern nicht um besonders schlechte Probanden handelt. Vielmehr liegen die „Low-Performer“ betreffs ihrer Leistung auf einem normalen Niveau. Die High-Performer sind dagegen überdurchschnittlich gut in ihren Ergebnissen. Allerdings ist anzumerken, dass die Low-Performer mit  $2,32 \pm 0,28$  False Memories im Durchschnitt keinesfalls signifikant mehr False Memories aufweisen als die High-Performer mit durchschnittlich  $1,81 \pm 0,23$  False Memories ( $p = 0,17$ ). Die Korrelation zwischen den False Memories und den richtigen Antworten (absolute Hits) beträgt  $r = -0,02$  und hat eine Signifikanz von  $p > 0,80$ , die Korrelation zwischen False Memories und den korrigierten Hits (Anzahl der absoluten Hits minus Anzahl der falsche Antworten) beträgt  $r = -0,09$  bei einer Signifikanz von  $p > 0,50$ .

## **4.2. Diskussion der Einzelbefunde**

### **Die Rolle der Befindlichkeit und Motivation**

Im Folgenden soll erörtert werden, warum sich diese signifikanten Effekte nur bei den Low-Performern zeigten. Warum ist die Bildung von False Memories nur bei den Low-Performern durch Schlaf und Schlafdeprivation zu beeinflussen? Als mögliche Erklärung hierfür könnte ein Unterschied in der Befindlichkeit zwischen den High- und Low-Performern dienen. So könnte man vermuten, dass die High-Performer deutlich motivierter und konzentrierter beim Lernen und der Abfrage waren. Gerade die Motivation, die der Lernende mitbringt, scheint besonders bedeutsam für die Fähigkeit des Lernens und Behaltens des Gelernten zu sein. Wenn man wirklich lernen will und dann später das Gelernte auch wieder reproduzieren will, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass einem dies auch tatsächlich gelingt. Es ist demnach sehr wichtig, vor dem Lernen die aktuelle

Motivation und gegebenenfalls auch die aktuelle Emotions- und Stimmungslage zu erfragen.

Man könnte annehmen, dass durch eine größere Motivation und Konzentration nicht nur die Anzahl der Hits steigt, sondern auch die Menge an False Memories verringert wird.

Tatsächlich weist bei der Gesamtbetrachtung die Gruppe Tagwach, die signifikant motivierter, konzentrierter, aktivierter und wacher war als die beiden Gruppen Schlaf und Nachtwach, auch gleichzeitig weniger False Memories auf. In diesem Fall kann also durchaus von einem solchen Zusammenhang zwischen zum Beispiel Motivation und reduzierter Bildung von False Memories ausgegangen werden. Die Nachtwach-Gruppe war dagegen im Vergleich zum Lernen bei der Abfrage in ihrer Motivation und Konzentration deutlich abgesunken, wie das nach der Schlafdeprivation zu vermuten war. Auch waren die Nachtwach-Probanden bei der Abfrage am schläfrigsten und am wenigsten aktiviert.

Dadurch ließe sich die höhere Anzahl an False Memories erklären. Beim Lernen schätzten sich dagegen die Probanden der Schlaf-Gruppe als am wenigsten motiviert, konzentriert, aktiviert und als am schläfrigsten ein. Die große Schläfrigkeit resultiert vermutlich daraus, dass die Schlaf-Probanden sich mental schon auf das baldige Schlafen einstellen. Durch die zunehmende Schläfrigkeit und die abnehmende Konzentration und Motivation werden - so könnte man spekulieren - die Enkodierung und schließlich auch die Konsolidierung erschwert, weshalb wiederum in der Schlaf-Gruppe vermehrt False Memories entstehen. Werden allerdings die Low- und High-Performer getrennt voneinander betrachtet, muss man erkennen, dass diese sich nicht signifikant unterscheiden, was ihre Befindlichkeit angeht. Die Low-Performer waren also nicht unbedingt weniger motiviert und konzentriert als die High-Performer, so dass dieser Aspekt keine Erklärung für die erhöhte Anzahl an False Memories bei Low-Performern geben kann.

### **Sleep inertia**

Man könnte spekulieren, dass die Müdigkeit und Schummrigkeit nach dem Aufwachen bzw. nach der Schlafdeprivation eine bedeutende Rolle für die Entstehung von False Memories haben könnte. So könnte die Sleep inertia, die als eingeschränkte kognitive Leistungsfähigkeit sofort nach dem Aufwachen definiert wird (Scheer et al. 2009) und etwa 10 Minuten andauert, eine weitere Möglichkeit darstellen, warum es bei den Probanden der Schlaf-Gruppe vermehrt zu False Memories gekommen ist.

Werden die Probanden durch einen äußeren Stimulus wie beispielsweise einem Wecker geweckt, tritt Sleep inertia besonders häufig auf und führt zu einem Gefühl des

Unwohlseins (Ikeda et al. 2009). Außerdem lässt sich eine verschlechterte Reaktionszeit ähnlich wie nach Schlafdeprivation nachweisen, wenn Fragen sofort nach dem Aufwachen gestellt werden (Miccoli et al. 2008). Werden die Probanden dagegen nicht geweckt, sondern dürfen von alleine aufwachen, fühlen sie sich nicht nur wohler, ihre Reaktionszeit ist auch deutlich verkürzt. Um die Sleep inertia bei dieser Studie zu vermeiden, war die Abfrage nicht sofort nach dem Aufstehen geplant, sondern erst 30 Minuten später. Zu diesem Zeitpunkt dürfte eine eventuell bestandene Sleep inertia wieder abgeklungen sein. Sollte der Effekt der Sleep inertia bei diesem Versuch dennoch eine Rolle gespielt haben, müsste man davon ausgehen, dass nicht nur die Low-Performer diesem Effekt unterliegen, sondern alle Probanden. Dies ist aber nicht der Fall. Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass die Sleep inertia keine entscheidende Rolle bei der Erklärung zu der Entstehung der False Memories beitragen kann. Außerdem scheint die Sleep inertia keinen Einfluss auf die Entstehung von Fehlern zu haben. Dies vermag nur die Schlafdeprivation (Miccoli et al. 2008). Auch aus diesem Grund kann die erhöhte Anzahl an False Memories nach dem Schlafen nicht durch Sleep inertia begründet werden.

### **Der circadiane Rhythmus**

Ein weiteres Erklärungsmodell für unsere Ergebnisse könnte der Effekt des circadianen Rhythmus darstellen. Bei dieser Betrachtung hätte jede der Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach ihre charakteristischen Cortisolspiegel während des Lernens und der Abfrage. Bei der Tagwach-Gruppe, die morgens lernt, müsste der Cortisolspiegel noch verhältnismäßig hoch gewesen sein, um dann zum Abend hin bei der Abfrage deutlich abgesunken zu sein. Dagegen müssten die beiden Gruppen Schlaf und Nachtwach, die am Abend lernten, beim Lernen einen niedrigen Cortisolspiegel aufgewiesen haben und bei der Abfrage dagegen einen hohen. Ein hoher Cortisolspiegel kann einerseits förderlich für eine erfolgreiche Abfrage sein, wenn dieser zu Aktiviertheit und Konzentration führt. Falls dieser allerdings sehr hoch steigt, ist dies ein Anzeichen für Stress. Durch Stress wird wiederum die Abfrage von Gelerntem deutlich erschwert (Born et al. 2000). Es wäre dementsprechend möglich, dass die Schlaf- und die Nachtwach-Gruppe aufgrund ihrer charakteristischen Cortisolspiegel vermehrt False Memories gebildet haben. Eine Schwierigkeit, die sich besonders der Tagwach-Gruppe stellt, ist das Einströmen von neuer Information während des gesamten Tages, was vermutlich zu einer Verdrängung der Wortlisten führt. Es ist anzunehmen, dass die Tagwach-Probanden am wenigsten Zeit gehabt haben, sich noch einmal Gedanken über die Wortlisten zu machen und deshalb mit

ganz anderen Voraussetzungen an die Abfrage herangehen als beispielsweise die Schlaf-  
Probanden, für die die Wortlisten möglicherweise bei der Abfrage noch um einiges  
präsenster sind.

Wenn dieser Aspekt des circadianen Rhythmus eine bedeutende Rolle für die Bildung von  
False Memories spielen würde, müssten allerdings sowohl bei den High- als auch bei den  
Low-Performern ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen Schlaf, Tagwach  
und Nachtwach bestehen, was die drei Items False Memories, False Alarms und Hits  
betrifft. Da dies aber nur bei den Low-Performern der Fall war, die High-Performer  
dagegen aber scheinbar von jeglichen circadianen Veränderungen unbeeinträchtigt blieben  
und nicht mit einer vermehrten Bildung von False Memories reagierten, muss man davon  
ausgehen, dass circadiane Einflüsse nicht für die Entstehung von False Memories  
maßgeblich zu sein scheinen, wovon auch schon Payne et al. 2009 ausgegangen waren.

### **Die Rolle von Intelligenz und Lernstrategien**

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Entstehung von False Memories besonders nach  
Schlafdeprivation scheint die Intelligenz zu sein (Gudjonsson, 1991, 1992). So wird  
angenommen, dass Leute mit höherer Intelligenz sich weniger durch Suggestivfragen  
beeinflussen lassen und mehr auf die Richtigkeit des eigenen Wissens vertrauen (Blagrove  
et al. 2000). Dabei lässt sich vermuten, dass die High-Performer (besonders der Nachtwach-  
Gruppe) möglicherweise vertrauensvoller ihrem eigenen Wissen gegenüber stehen und sich  
weniger dazu verleiten lassen, zu generalisieren und abstrahieren und somit die jeweiligen  
False Memories anzugeben. Da sich die Studien zur Intelligenz nur auf die  
Schlafdeprivation beziehen, muss man bei den Überlegungen diesbezüglich was die Schlaf-  
und die Tagwach-Gruppe betrifft, allerdings Vorsicht walten lassen.

Nach Angaben einer Probandin, die eine Lernstrategie angewandt hatte, indem sie einen  
imaginären Raum durchlief, war dies ihrer Meinung nach der Grund, warum sie besonders  
gut bei der freien Abfrage abgeschnitten hatte. Sie merkte sich die richtigen Begriffe, indem  
sie diese an bestimmten Orten eines imaginären Raums platzierte und diesen Raum bei der  
freien Abfrage wieder in derselben Reihenfolge „durchlief“. Sie zeigte nicht nur auffallend  
viele Hits, sondern auch so gut wie keine False Memories. Durch eine solche Lernstrategie,  
die zum Beispiel durch ein besonders ausgeprägtes photographisches Gedächtnis unterstützt  
wird, können also einerseits die Anzahl der Hits erhöht und andererseits die Anzahl an False  
Memories verringert werden. Auch andere Probanden erwähnten ähnliche Lernstrategien.  
Dadurch könnten die Ergebnisse dementsprechend verzerrt worden sein, als die Probanden

überdurchschnittlich gut abgeschnitten hatten und gleichzeitig sehr wenige False Memories aufwiesen (Read, 1996). Damit lässt sich erklären, warum bei der vorliegenden Studie so viele überdurchschnittlich gute High-Performer vertreten waren. Allerdings hatten die High-Performer im Durchschnitt keinesfalls signifikant weniger False Memories gebildet als die Low-Performer ( $p = 0,17$ ).

Generell kommen Lernstrategien besonders bei der freien Abfrage zum Tragen, wenn eigene „Gedächtnis-Schlüssel“ oder Eselsbrücken gebildet und angewandt werden müssen. Als Strategien könnte dafür einerseits der oben beschriebene imaginäre Raum angewandt werden, der einer Bildung von False Memories entgegen wirken könnte oder aber man merkt sich andererseits die genannten Wörter als ein großes Bild, in dem man sich beispielsweise eine Person mit verschiedenen Kleidungsstücken oder ein Raubtier mit Mähne im Käfig vorstellt. Dadurch können wiederum vermehrt False Memories entstehen, weil man zu Assoziationen und Generalisierung neigt (Schacter et al. 2004; Schacter et al. 1995; Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971). Verfügt man also über keine ausgereifte Lernstrategie, müssten durchaus False Memories entstehen.

Da besonders viele Studenten unter den Probanden vertreten waren, die sich womöglich während ihres lernintensiven Studiums automatisch Lernstrategien angeeignet hatten - gerade für diese Art von deklarativen Lerninhalten - könnte auch hierin die Ursache für die oft überdurchschnittlich guten Ergebnisse liegen. Auch wird man beispielsweise im Medizinstudium und besonders beim Kreuzen von Multiple Choice-Fragen darauf getrimmt, sehr detailliert und präzise zu lernen, sich mit dem Verständnis des groben Zusammenhangs nicht zufrieden zu geben und sich durch Fangfragen und False Memories keinesfalls täuschen zu lassen. Mit einer solchen Einstellung kann es durchaus möglich sein, False Memories zu vermeiden oder zu umgehen - unabhängig davon, ob man geschlafen hat oder nicht. Allerdings handelt es sich bei Multiple Choice-Fragen nicht um eine freie Abfrage wie bei der vorliegenden Studie, sondern natürlich um eine Recognition-Abfrage, die vermutlich nicht direkt von Schlaf abhängig ist.

### **4.3. Mechanismen von False Memories, Schlaf und Schlafdeprivation**

Auch wenn sowohl Schlaf als auch Schlafdeprivation dazu führen können, dass vermehrt False Memories entstehen, unterscheiden sich die zugrunde liegenden Mechanismen grundlegend voneinander. Insgesamt müsste durch die freie Abfrage die

Wahrscheinlichkeit, False Memories zu bilden, steigen (Diekelmann et al. 2008, 2009b; Drosopoulos et al. 2005; Wagner et al. 2007; Payne et al. 2009). Das könnte darin begründet sein, dass eine eigene „Eselsbrücke“ oder Lern- und Erinnerungshilfe gebildet wird und dann bei der Abfrage auch angewandt werden muss, um sich an gelernte Wörter erinnern zu können. Dies erfordert eine erhöhte Gedächtnisleistung (Diekelmann et al. 2008, 2009b). Diese Lern- und Erinnerungshilfe kann eine Lernstrategie sein, sie kann aber auch in einer Generalisierung oder Assoziation als Lernhilfe bestehen, was nachweislich vermehrt zu False Memories führt (Schacter et al. 1995, 2004; Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971).

Ein weiterer Mechanismus ist die Integration des neu Gelernten in vorherrschendes Wissen (Bartlett, 1932; Posner & Keele, 1968; Bransford & Franks, 1971; Schacter et al. 1995, 2004; Loftus et al. 1993, 1995). Dieser Vorgang findet vorzugsweise im Schlaf während des aktiven Prozesses der Konsolidierung statt und führt nachweislich vermehrt zu False Memories (Wagner et al. 2004; Payne et al. 2009). Dabei scheint die Konsolidierung und Reorganisierung von Gedächtnisspuren im Schlaf besonders gut für schwache Gedächtnisspuren zu sein (Drosopoulos et al. 2007; Marr, 1970; Wilson & McNaughton, 1994, Diekelmann & Born, 2009b). Möglicherweise wiesen gerade die Low-Performer im Vergleich zu den High-Performern eher schwache Gedächtnisspuren auf (und hatten deswegen auch weniger Hits). Diese schwachen Gedächtnisspuren konnten im Schlaf bei der Konsolidierung weiter verändert werden, so dass auch vermehrt False Memories gebildet wurden. Bei sehr guten Probanden hätte der Schlaf dementsprechend keinen Effekt auf die Gedächtnisbildung, da bei diesen Probanden die maximale Lernleistung schon erreicht wurde und nicht mehr weiter durch Schlaf verbessert bzw. auch verändert werden kann.

In einer ähnlichen Studie von Tucker und Fishbein (2008), die ebenfalls eine Aufteilung in High- und Low-Performer vornahm, zeigt sich ein größerer Effekt von Schlaf auf deren High-Performer. Allerdings ist hierbei anzumerken, dass in dieser Studie die Gedächtnisleistungen der High-Performer auf einem normalen Niveau ähnlich unserer Low-Performer liegen und mit deren Ergebnissen verglichen werden müssten. Somit hat also der Schlaf anscheinend nicht nur wenig Effekt auf überdurchschnittlich gute Ergebnisse, sondern auch auf eher schwache Gedächtnisleistungen. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass bei diesen schwächeren Probanden vermutlich schon die Enkodierung beispielsweise durch schlechte Konzentration und Motivation nur unzureichend ablaufen

konnte, so dass im nachfolgenden Schlaf auch durch die Konsolidierung keine Verbesserung erzielt werden kann.

Wie schon Diekelmann et al. (2008) in ihrer Studie herausfanden, können auch durch Schlafdeprivation vermehrt False Memories hervorgerufen werden. Wegen Problemen im Bereich der Konzentration, Aufmerksamkeit und Motivation verschlechtert sich der Abruf von neuen Informationen, so dass die Probanden weniger richtige Antworten geben konnten als Vergleichsgruppen (Durmer et al. 2005; Harrison & Horne, 2000). Dies ist vermutlich auf die kognitiven Defizite aufgrund von Schlafdeprivation zurückzuführen (Curran et al. 2001). Dabei spielt der präfrontale Cortex eine entscheidende Rolle. Dieser ist unter anderem dafür zuständig, False Memories möglichst zu vermeiden (Schacter & Slotnick, 2004; Curran et al. 2001). Durch Schlafdeprivation wird der präfrontale Cortex in seiner Funktion stark beeinträchtigt (Curran et al. 2001), so dass die Probanden große Mühe bei der Entscheidung haben, ob ein Wort tatsächlich vorkam oder ob sie es lediglich hinzu assoziiert hatten (Source Monitoring) (Johnson et al. 1993; Horne, 1993; Diekelmann et al. 2008).

#### **4.4. Schwachpunkte der Studie und Alternativerklärungen**

Da letztendlich alle Schlafstadien am Lernprozess und der Gedächtnisbildung beteiligt sind und nur eine Gruppe von schlafdeprivierten Probanden mit schlafenden Probanden verglichen werden sollte, wurde für unsere Versuche die „totale Schlafdeprivation“ gewählt. Daneben scheint es besonders wichtig für die Konsolidierung zu sein, den Schlafzyklus, bzw. die Schlafarchitektur nicht zu stören (Peigneux et al. 2001). Allerdings folgt daraus, dass in dieser Studie keine Aussage über die einzelnen Schlafphasen und ihre Bedeutung für die Entstehung von False Memories gemacht werden kann. Es empfiehlt sich, diesem Zusammenhang zwischen Schlafstadien und False Memories in künftigen Studien weiter nachzugehen.

Verschiedene Vorgängerstudien (Tilley und Empson 1978; Smith 2001; Wagner et al. 2004; Payne et al. 2006, 2009; Gudjonsson 1991, 1992; Blagrove 1996, 2000; Diekelmann et al. 2008, 2009b) rechtfertigen die zugrunde gelegte Hypothese, dass durchaus ein Zusammenhang zwischen Schlaf bzw. Schlafdeprivation und der vermehrten Bildung und Entstehung von False Memories besteht. Dafür sprechen auch die signifikanten Ergebnisse der Low-Performer für die False Memories. Eine Überlegung wäre, dass die Hypothese zwar im Grunde richtig ist, dass aber noch ein weiterer wichtiger Aspekt in dieser Studie

außer Acht gelassen wurde, so dass die Ergebnisse der High-Performer, was die False Memories betrifft, nicht signifikant waren. Möglich wäre beispielsweise, dass die Lebhaftigkeit des Erinnerns von Proband zu Proband unterschiedlich ist. Gegebenfalls merkt sich der eine Proband Dinge eher in einem großen Bild und neigt daher eher zur Bildung von False Memories, der andere Proband achtet aber gar nicht so sehr auf die Bedeutung der einzelnen Worte und vermeidet dadurch unbewusst die Entstehung von False Memories.

Es wurde lange Zeit spekuliert, dass besonders Frauen sich Dinge gerne in Bildern merken, Männer dagegen eher abstrakt lernen. Dabei stellt sich die Frage, ob Frauen mehr False Memories haben als Männer. Dafür könnte auch sprechen, dass Frauen angeblich ihre sehr ausführlichen Erzählungen gerne sehr „blumig“ darstellen und häufig das interessante Erzählen wichtiger zu werden scheint als der Wahrheitsgehalt der Neuigkeiten („extended in memory“ Intraub et al. 1992, 1996; Schacter et al. 1998). Auch dadurch könnten vermehrt False Memories provoziert werden. Wenn dies tatsächlich der Fall wäre, müssten sich Männer und Frauen signifikant unterscheiden, was die Bildung von False Memories betrifft. Das ist allerdings nicht der Fall ( $p > 0,80$ ). Frauen wiesen im Durchschnitt  $2,11 \pm 0,29$  False Memories auf, Männer  $2,04 \pm 0,23$ . Aus diesem Grund kann man nicht davon ausgehen, dass diese Argumente in jedem Fall richtig sind und auch zu False Memories führen würden.

Als weiteren Aspekt könnte man annehmen, dass das Alter der Probanden eine Rolle spielt. So wäre es möglich, dass ältere Probanden, die schon über einen größeren Wissenspool verfügen als jüngere, mehr dazu neigen, neue Informationen mit schon vorher bestehendem Wissen abzugleichen, anzupassen und in dieses zu integrieren. Auch dadurch könnte eine größere Anzahl von False Memories auftreten. Die Probanden, die an der vorliegenden Studie teilnahmen, wiesen allerdings keinen signifikanten Altersunterschied auf, so dass vermutet werden kann, dass dieser hier keine entscheidende Rolle spielen kann. Die Korrelation zwischen False Memories und Alter betrug  $r = 0,23$  ( $p = 0,10$ ), zwischen absoluten Hits und Alter betrug die Korrelation  $r = -0,20$  ( $p = 0,13$ ) und zwischen Alter und korrigierten Hits  $r = -0,24$  ( $p = 0,08$ ).

Interessant ist die Frage, ob False Memories tatsächlich Fehler oder eigentlich eine konstruktive Leistung des Gehirns sind. Was wird vom Gehirn erwartet, wenn man hier von Fehlern spricht? Eine getreue Abbildung des Vorhandenen wie vom Computer oder eine kreative Leistung? Wenn man hier von Fehlern spricht, dann sollte man in jedem Fall beachten, dass dieser Fehler durchaus eine positive, konstruktive Funktion haben kann. In

vielen Fällen ist es höchstwahrscheinlich sogar wünschenswert und hilfreich, False Memories zu produzieren. So kann man sehr viel rascher von bisher erlebten Situationen lernen und daraus profitieren. Für die Evolution war es mit Sicherheit sehr wichtig, dass der Mensch - nachdem er gelernt hatte, sich beispielsweise vor Tigern, Löwen und Leoparden in Acht zu nehmen, auch bei Panthern Vorsicht walten ließ, auch wenn er diese noch nie zuvor gesehen hatte (siehe Verallgemeinerung). Vermutlich treten False Memories auch deswegen so hartnäckig auf, weil die Gehirnleistung, die sie hervorbringt, im Grunde sehr wichtig ist. Deshalb macht es in der vorliegenden Studie möglicherweise auch keinen Unterschied, ob die Probanden das Ziel der Studie erkannt hatten oder nicht. Auch wenn sich die Probanden dessen bewusst waren, bildeten sie False Memories.

Es ist allgemein bekannt, dass Schlafdeprivation zu kognitiven Defiziten führen kann (Curran et al. 2001). Bei der Beurteilung unserer Ergebnisse in Bezug auf Schlafdeprivation ergibt sich das Problem, dass man nicht eindeutig bestimmen kann, ob die zunehmenden Probleme bei der Abfrage des Kurzzeitgedächtnisses auf die schlechter ablaufenden Konsolidierungsprozesse zurückzuführen sind oder aber einfach nur auf den Schlafmangel und seine Folgen (Peigneux et al. 2001). So war eine Patientin beispielsweise bei der Abfrage nach der Schlafdeprivation eingeschlafen. Dadurch ließe sich auch erklären, warum bei den High-Performern auffallend wenige Probanden aus der Nachtwach-Gruppe stammen (N=5). Dagegen besteht die Low-Performer-Gruppe zum größten Teil aus solchen Probanden (N=14). Im Vergleich waren in der Tagwach- und Schlaf-Gruppe nur etwa ein Drittel (7 von 18) der Probanden der Low-Performer-Gruppe zugeordnet.

Die Tatsache, dass bei dieser Studie ungewöhnlich viele Probanden in den Gedächtnistests überdurchschnittlich gut abschnitten (High-Performer), gibt besonders zu denken. Als mögliche Ursache kommt die These der Lernstrategien in Betracht. Dabei stellt sich die Frage, ob es diese Lernstrategien tatsächlich vermögen, die Entstehung von False Memories zu verhindern. Dazu wäre eine weitere Studie nötig, die dieses Thema näher untersucht. Dazu müsste man die eine Hälfte der Probanden anweisen, eine Lernstrategie (z.B. imaginärer Raum) gezielt einzusetzen, die andere Gruppe sollte sich die Wörter einfach ganz entspannt anhören, ohne allzu großen Elan zu zeigen, unbedingt jedes einzelne Wort behalten zu müssen. In der Gruppe der Lernstrategen müsste die Rate an False Memories deutlich niedriger sein - und zwar unabhängig davon, ob der Lernstrateger nach dem Lernen tagsüber wach war, geschlafen hatte oder die folgende Nacht wach blieb.

Auch die These, dass man durch das Trainieren von bzw. das „Getrimmtsein“ auf Multiple Choice-Fragen False Memories verhindern könne - und zwar sowohl nach Schlaf als auch

nach Schlafdeprivation, müsste in einer nachfolgenden Studie näher untersucht werden. Bei der richtigen Beantwortung von Multiple Choice-Fragen kommt es meist darauf an, eine Falle zu umgehen und sich keinesfalls täuschen zu lassen. Hat ein Proband dieses Prinzip verstanden und hat auch einige Übung in der Beantwortung solcher Fragen, wäre es interessant zu erfahren, wie er folgende Aufgaben lösen würde: Wenn nur eine von fünf Lösungen falsch sein darf und es werden vier richtige Hits und das zugehörige False Memory gefragt, würde der Proband das False Memory als falsch erkennen oder wäre die stärkere Assoziation dank der häufigeren Wiederholungen im Geiste ein Grund für den Probanden, auch und gerade das False Memory als richtig zu erkennen, da er eine größere Sicherheit verspürt, sich an das Wort zu erinnern? Auch der umgekehrte Fall wäre interessant zu beobachten: Dem Proband wird nach dem Erlernen der DRM-Wortlisten gesagt, er solle aus den folgenden fünf Antwortmöglichkeiten das eine Wort herausuchen, das tatsächlich in einer der Wortlisten vorkam. Dazu werden drei falsche aber ähnliche Begriffe angegeben, ein Hit und das dazugehörige False Memory. Würde der Proband in diesem Fall eher das False Memory als richtig erkennen oder das tatsächlich richtige Wort? Diese Art der Abfrage käme allerdings wieder einer Art Recognition-Abfrage nahe, so dass man annehmen müsste, dass wiederum der Schlaf keinen signifikanten Einfluss auf die Bildung der False Memories hätte, falls man erneut die drei Gruppen Schlaf, Tagwach und Nachtwach unter diesem Aspekt miteinander vergleichen möchte. Für eine wiederholte Untersuchung, bei der man die Unterteilung der Probanden in High- und Low-Performer verhindern möchte, wäre es womöglich von Vorteil, darauf zu achten, weniger ehrgeizige „Lernstrategen“ und auf Multiple Choice- Fragen getrimmte Studenten als Probanden auszuwählen.

## 5. Zusammenfassung

Durch die im Schlaf stattfindende Konsolidierung wird die Speicherung neuer Gedächtnisinhalte deutlich verbessert (Peigneux et al. 2001; Born, 2006; Smith, 2001). Schlafdeprivation verschlechtert dagegen aufgrund von kognitiven Defiziten (Durmer et al. 2005; Curran et al. 2001) den Abruf dieser Gedächtnisinhalte. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwieweit sich False Memories durch Schlaf bzw. durch Schlafdeprivation provozieren lassen. Von False Memories (falscher Erinnerung) spricht man, wenn Leute glauben, sich an etwas zu erinnern, das in Wirklichkeit niemals existiert oder stattgefunden hat (Roediger, III & McDermott, 1995). Dazu wurden drei Gruppen à 18 oder 19 männlichen und weiblichen Probanden im Alter zwischen 18 und 33 Jahren gebildet: eine Schlaf-Gruppe, eine Nachtwach-Gruppe und eine Tagwach-Gruppe. Unserer Hypothese nach müssten die Probanden im Vergleich zu der Tagwach-Gruppe sowohl nach Schlaf als auch nach Schlafdeprivation vermehrt False Memories bilden. Verwendet wurden DRM- (Deese, Roediger, McDermott) Wortlisten, mit deren Hilfe ungewöhnlich viele False Memories provoziert werden können. Jeder Wortliste ist ein semantisch assoziiertes Schlüsselwort (das False Memory) zugeordnet, welches die Wortliste zwar thematisch wiedergibt, aber nicht genannt wird. Bei einer freien Abfrage, die anders als die Recognition-Abfrage abhängig von Schlaf ist, sollen die Probanden alle Wörter der Wortliste, an die sie sich noch erinnern, reproduzieren. In der vorliegenden Studie konnte nachgewiesen werden, dass sowohl durch die Konsolidierung im Schlaf als auch durch Schlafdeprivation vermehrt False Memories gebildet werden. Damit scheinen die beiden bedeutenden Aspekte des Schlafes, nämlich zum einen der Aspekt der Regeneration im Schlaf, der durch Schlafdeprivation verschlechtert wird, zum anderen der Aspekt der aktiven Beeinflussung des Gedächtnissystems durch Schlaf mithilfe der Konsolidierung, entscheidend auf die Bildung von False Memories einzuwirken. Anzumerken ist allerdings, dass diese Ergebnisse nur für Probanden mit einem durchschnittlichen Niveau der Gedächtnisleistung gelten. Da bei der Studie sehr viele überdurchschnittlich gute Probanden teilnahmen, die sehr viele richtige Antworten geben konnten, wurden alle Probanden anhand ihrer Gedächtnisleistung in Low- und High-Performer geteilt. Es ist zu vermuten, dass die High-Performer Lernstrategien angewandt hatten, so dass sie dadurch die Anzahl an richtigen Wörtern steigern konnten.

## 6. Literaturverzeichnis

Aschenbrenner, S., Tucha, S. & Lange, K.W. (2000). Regensburger Wortflüssigkeitstest, RWT. Göttingen, Hogrefe.

Aserinsky, E. & Kleitman, N. (1953). Regularly occurring periods of eye motility and concurrent phenomena during sleep. *Science* 118,273-274.

Bartlett, F.C. (1932). Remembering. *Cambridge University Press*.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde. In: Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 29.Auflage, Kapitel 8, 188-203, Springer-Verlag, Heidelberg, 2005.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. Wachen, Aufmerksamkeit und Schlafen. In: Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 29.Auflage, Kapitel 9, 205-223, Springer-Verlag, Heidelberg, 2005.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. Lernen und Gedächtnis. In: Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 29.Auflage, Kapitel 10, 225-239, Springer-Verlag, Heidelberg, 2005.

Blagrove, M. (1996). Effects of Length of Sleep Deprivation on Interrogative Suggestibility. *J.Exp.Psychol.Appl.*, 2, 48-59.

Blagrove, M. & Akehurst, L. (2000). Effects of Sleep Loss on Confidence-Accuracy Relationships for Reasoning and Eyewitness Memory. *J.Exp.Psychol.Appl.*, 6, 59-73.

Bliss, T.V. & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J.Physiol.* 232(2):331-56.

- Borbély A.A. (1998). Processes underlying sleep regulation. *Horm Res.*49 (3-4):114-7.  
*Review.*
- Born, J. & Plihal, W. (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51, 4, 198-208.
- Born, J., Rasch, B. & Gais, S. (2006) Sleep to Remember. *Neuroscientist.*, 12, 410-424.
- Bransford, J.D. & Franks, J. J. (1971). The abstraction of linguistic ideas. *Cognitive Psychology*, 2, 331-350.
- Buchegger, J. & Meier-Koll, A. (1988). Motor learning and ultradian sleep cycle: an electroencephalographic study of trampoliners. *Percept. Mot. Skills*, 67, 635-645.
- Buzsaki, G. (1998). Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. *J.Sleep.Res.*, 7Suppl.1, 17-23.
- Curran, T., Schacter, D.L., Johnson, M.K. & Spinks, R. (2001). Brain potentials reflect behavioral differences in true and false recognition. *J. Cogn. Neurosci.* 13, 201-216.
- DeKonick, J. Christ, G., Hebert, G. & Rinfret, N. (1990). Language learning efficiency, dreams and REM sleep. *Psychiat. J. Univ. Ottawa*, 15, 91-92.
- Deese, J. (1959). On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. *J. Exp. Psychol.* 58, 17-22.
- Dement, W. & Kleitman, N. (1957). Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 9 (Suppl. 4), 673-690.
- Diekelmann, S., Landolt, H.P., Lahl, O., Born, J. & Wagner, U. (2008). Sleep Loss Produces False Memories. *PLoS.ONE.*, 3, e3512.

Diekelmann, S. & Born, J. (2009a). Schlaf dich schlau! – Die Bedeutung des Schlafes für Gedächtnisbildung. *E-Learning*, 5, 47-50.

Diekelmann, S., Wilhelm, I. & Born, J. (2009b). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Med Reviews*, 1-13.

Dodson C.S. & Johnson M.K. Rate of false source attributions depends on how questions are asked. *Am J Psychol.* 106(4):541-57.

Doran, S.M., Van Dongen, H.P. & Dinges, D.F. (2001). Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. *Arch.Ital.Biol.*139(3):253-67.

Drosopoulos, S., Wagner, U. & Born, J. (2005). Sleep enhances explicit recollection in recognition memory. *Learn.Mem.*, 12, 44-51.

Drosopoulos, S., Schulze, C., Fischer, S. & Born, J. (2007). Sleep's function in the spontaneous recovery and consolidation of memories. *J.Exp.Psychol.Gen.*, 136, 169-183.

Durmer, J.S., M.D., Ph. D. & Dinges, D.F. & Ph. D. (2005). Neurocognitive Consequences of Sleep Deprivation. *Semin.Neurol.*, 25, 117-129.

Ficca, G., Lombardo, P., Rossi, L. & Salzarulo, P. (2000). Morning recall of verbal material depends on prior sleep organization. *Behav. Brain Res.* 112, 159-163.

Frankland, P.W. & Bontempi, B. (2005). The Organization of recent and remote Memories. *Nat.Rev.Neurosci.*, 6, 119-130.

Gais, S. & Born, J. (2004a). Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A*, 101, 2140-2144.

Gais, S. & Born, J. (2004b). Declarative memory consolidation: mechanisms acting during human sleep. *Learn.Mem.*, 11, 679-685.

- Gardiner, J.M. (1988). Recognition failures and free-recall failures: implications for the relation between recall and recognition. *Mem.Cognit.*, 16, 446-451.
- Gudjonsson, G.H. (1991). The effects of intelligence and memory on group differences in suggestibility and compliance. *Personality and Individual Differences*, 12, 503-505.
- Gudjonsson, G.H. (1992). The psychology of interrogations, confessions and testimony. *Chichester, England: Wiley*.
- Harrison, Y. & Horne, J.A. (2000). The Impact of Sleep Deprivation on Decision Making: a Review. *J.Exp.Psychol.Appl.*,6,236-249.
- Hartmann, E. (1966). Mechanism underlying the sleep-dream cycle. *Nature*,5;212(5062):648-50.
- Hennevin, E., Hars, B., Maho, C. & Bloch, V. (1995). Processing of learned information in paradoxical sleep: relevance for memory. *Behav Brain Res*.69(1-2):125-35.
- Hobson, J.A. & Pace-Schott, E.F. (2002). The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat.Rev.Neurosci.*, 3, 679-693.
- Hobson, J.A. (2005). Sleep is of the brain, by the brain and for the brain. *Nature*, 437,1254-1256.
- Horne, J.A. (1993). Human sleep, sleep loss and behaviour: Implications for the prefrontal cortex and psychiatric disorder. *British journal of psychiatry*, 162,413-419.
- Ikeda, H. & Hayashi, M. (2009). The effect of self-awakening from nocturnal sleep on sleep inertia. *Biol Psychol.* (in print).
- Intraub, H., Bender, R.S. & Mangels, J.A. (1992). Looking and pictures but remembering scenes. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 18, 180-191.

Intraub, H., Gottesman, C.V., Willey, E.V. & Zuk, I.J. (1996). Boundary extension for briefly glimpsed photographs: Do common perceptual processes result in unexpected memory distortions? *J. Mem. Lang.* 35, 118-134.

Johnson, M.K., Hashtroudi, S. & Lindsay, D.S. (1993). Source monitoring. *Psychol. Bull.* 114, 3-28.

Jones, M.W. et al. (2001). A requirement for the immediate early gene Zif268 in the expression of late LTP and long-term memories. *Nature Neurosci.* 4, 289-296.

Kahana, M.J., Rizzuto, D.S. & Schneider, A.R. (2005). Theoretical correlations and measured correlations: relating recognition and recall in four distributed memory models. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.*, 31, 933-953.

Kattler, H., Dijk, D.J. & Borbely, A.A. (1994). Effect of unilateral somatosensory stimulation prior to sleep on sleep EEG in humans. *J. Sleep Res.* 3, 159-164.

Kolb, B. & Whishaw, I.Q. (1998). Brain plasticity and behavior. *Annu. Rev. Psychol.* 49, 43-64. *Review.*

Lee, J.L., Everitt, B.J. & Thomas, K.L. (2004). Independent cellular processes for hippocampal memory consolidation and reconsolidation. *Science*, 304, 839-843.

Lestienne, R., Herve-Minvielle, A., Robinson, D., Briois, L. & Sara, S. J. (1997). Slow oscillations as a probe of the dynamics of the locus coeruleus-frontal cortex interaction in anaesthetized rats. *J. Physiol. Paris* 91, 273-284.

Lindsay, D.S. & Johnson, M.K. (1989). The eyewitness suggestibility effect and memory for source. *Mem. Cognit.* 17, 349-358.

Loftus, E.F. (1993). The reality of repressed memories. *Am. Psychol.* 48(5), 518-537, *Review.*

Loftus, E.F., Feldmann, J. & Dashiell, R. (1995). The Reality of Illusory Memories. In: D.L. Schacter, J. T. Coyle, G. D. Fischbach, M. M. Mesulam & L. E. Sullivan (eds.). *Memory Distortion: How Minds, Brains, and Societies Reconstruct the Past*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Loftus, E.F. (1997). Creating false memories. *Sci. Am.* 277, 70-75.

Marr, D. (1970). A theory for cerebral neocortex. *Proc. R. Soc. Lond. B* 176, 161-234.

Marsh, E.J. & Bower, G.H. (2004). The role of rehearsal and generation in false memory creation. *Memory*. 12, 748-761.

Marshall, L, Helgadottir, H., Molle, M. & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444, 610-613.

McCabe, D.P. & Smith, A.D. (2002). The effect of warning on false memories in young and older adults. *Mem, Cognit.* 30, 1065-1077.

McClelland, J.L. (1995). Constructive Memory and Memory Distortions: A Parallel-Distributed Processing Approach. In: D. L. Schacter, J. T. Coyle, G. D. Fischbach, M. M.

McDermott, K.B. (1996). The persistence of false memories in list recall. *J. Mem. Lang.* 35, 212-230.

McGaugh, J.L. (1966). Time-dependent processes in memory storage. *Science*;153(742):1351-8.

McGaugh, J.L. (2004). The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Annu. Rev. Neurosci.* 27, 1-28.

Miccoli, L., Versace, F., Koterle, S. & Cavallero, C. (2008). Comparing sleep-loss sleepiness and sleep inertia: lapses make the difference. *Chronobiol int Pubmed* 25 (5): 725-44.

Nadasdy, Z., Hirase, H., Czurko, A., Csicsvari, J. & Buzsaki, G. (1999). Replay and time compression of recurring spike sequences in the hippocampus. *J.Neurosci.*, 19, 9497-9507.

Neuschatz, J.S., Payne, D.G., Lampinen, J.M. & Toggia, M.P. (2001). Assessing the effectiveness of warnings and the phenomenological characteristics of false memories. *Mamory.* 9, 53-71.

Orban, P., Rauchs, G., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A. & Maquet, P. (2006). Sleep after spatial learning promotes covert reorganization of brain activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103,7124-7129.

Payne, J.D., Propper, R., Walker, M.P., Kensinger, E.A. & Stickgold, R. (2006). Sleep on it to get the gist. *Neuroscience Meeting Planner, Atlanta, GA.*

Payne, J.D., Schacter, D.L., Propper R. E., Hang, L-W., Wamsley, E. J., Tucker, M. A., Walker, M. P. & Stickgold, R. (2009). The role of sleep in false memory information. *Nerobiology of Learning and Memory (in press).*

Peigneux, P., Laureys, S., Delbeuck, X., & Maquet, P. (2001). Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*, 12, A111-A124.

Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J. Cogn. Neurosci.* 9, 534-547.

Posner, M.I. & Keele, S.W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *J.Exp.Psychol.*353-363.

Rasch, B.H., Born, J. & Gais, S. (2006). Combined blockade of cholinergic receptors shifts the brain from stimulus encoding to memory consolidation. *J. Cogn. Neurosci.* 18, 793-802.

Rasch, B., Büchel, C., Gais, S. & Born, J. (2007). Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation. *Science*, 315, 1426-1429.

Read, J.D. (1996). From a passing thought to a false memory in 2 minutes: Confusing real and illusory events. *Psychol.Bull.Rev.*, 3, 105-111.

Rechtschaffen, A. & Kales, A.A. (1968). A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. *Bethesda: US Department of Health, Education and Welfare.*

Ribeiro, S. et al. (2004). Long-lasting novelty-induced neuronal reverberation during slow-wave sleep in multiple forebrain areas. *PLoS Biol.*2, E24.

Ribot, T. (1882). Diseases of Memory. *Appleton-Century-Crofts, New York.*

Roediger III, H.L. & McDermott, K.B. (1995). Creating False Memories: Remembering Words Not Presented in Lists. *Journal of Experimental Psychology*, 21, 4, 803-814.

Rosenzweig, M.R., Breedlove, S.M. & Watson, N.V. (2005). Biological Psychology. An Introduction to Behavioral and Cognitive Neuroscience. *Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.*

Schacter, D.L. (1995). Memory Distortion: History and Current Status. In: Schacter, D.L., Coyle, J.T., Fischbach, G.D., Mesulam, M.M. & Sullivan, L.E. (eds.). *Memory Distortion: How Minds, Brains, and Societies Reconstruct the Past. Cambridge, MA: Harvard University Press.*

Schacter, D.L., Norman, K.A. & Koutstaal, W. (1998). The Cognitive Neuroscience of Constructive Memory. *Annu.Rev.Psychol.*, 49, 289-318.

Schacter, D.L. & Slotnick, S.D. (2004). The Cognitive Neuroscience of Memory Distortion. *Neuron*, 44, 149-160.

Scheer, F.A., Shea, T.J., Hilton, M.F. & Shea, S.A. (2009). An endogenous circadian rhythm in sleep inertia results in greatest cognitive impairment upon awakening during the biological night. *J Biol Rhythms, Pubmed* 23 (4): 353-61.

Seamon, J.G., Luo, C.R., Shulman, E.P., Toner, S.K. & Caglar, S. (2002a). False memories are hard to inhibit: differential effects of directed forgetting on accurate and false recall in DRM procedure. *Memory*, 10, 225-237.

Seamon, J.G., Luo, C.R., Kopecky, J.J., Price, C.A., Rothschild, L. & Fung, N.S. (2002b). Are false memories more difficult to forget than accurate memories? The effect of retention interval on recall and recognition. *Mem.Cognit.* 30, 1054-1064.

Sheehan, P.W., Grigg, L. & McCann, T. (1984). Memory distortion following exposure to false information in hypnosis. *Journal of Abnormal Psychology*, 93, 259-265.

Smith, C. & Lapp, L. (1991). Increases in number of REMS and REM density in humans following an intensive learning period. *Sleep*.14(4):325-30.

Smith, C. (1995). Sleep states and memory processes. *Behavioral Brain Research*, 69, 137-145.

Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Med.Rev.*, 5, 491-506.

Steriade, M., McCormick, D.A. & Sejnowski, T.J. (1993). Thalamocortical oscillations in the sleeping and arousal brain. *Science*, 262, 679-685.

Stickgold, R., Hobson, J.A., Fosse, R. & Fosse, M. (2001). Sleep, learning, and dreams: off-line memory reprocessing. *Science*, 294, 1052-1057.

Thapar, A. & McDermott, K.B. (2001). False recall and false recognition induced by presentations of associated words: effect of retention interval and level of processing. *Mem.Cognit.* 29, 424-432.

Tilley, A.J. & Empson, J.A. (1978). REM sleep and memory consolidation. *Biol. Psychol.* 6, 293-300.

Toglia, M.P., Neuschatz, J.S. & Goodwin, K.A. (1999). Recall accuracy and illusory memories: when more is less. *Memory* 7, 233-256.

Tucker, M.A. & Fishbein, W. (2008). Enhancement of declarative memory performance following daytime nap is contingent on strength of initial task acquisition. *Sleep*, 31,197-203.

Van Dongen, H., Rogers, N.L. & Dinges, D.F. (2003). Sleep debt: Theoretical and empirical issues. *Sleep and Biological Rhythms* 2003; 1: 5-13.

Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427, 352-355.

Wagner, U., Kashyap, N., Diekelmann, S. & Born, J. (2007). The impact of post-learning sleep vs. wakefulness on recognition memory for facts with different facial expressions. *Neurobiol.Learn.Mem.*, 87, 679-687.

Walker, M.P. & Stickgold, R. (2006). Sleep, Memory, and Plasticity. *Annu.Rev.Psychol.*, 57, 139-166.

Williams, H.L., Lubin, A. & Goodnow, J. (1959). Impaired performance with acute sleep loss. *Psychological Monographs*, 73 (Whole No. 484).

Wilson, M.A. & McNaughton, B.L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265, 676-679.

## 7. Anhang

Die **Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS)** befasst sich mit folgenden Fragen. Der Proband wählt die Antwort aus, die für ihn am besten zutrifft.

- 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 (8)

Der **Befindlichkeitsfragebogen** soll erfassen, wie aktiviert, angespannt, müde, motiviert und konzentriert sich die Probanden gerade fühlen. Sie haben die Möglichkeit, ihren aktuellen Zustand in einer Fünfer-Skala zwischen „gar nicht“ und „sehr“ anzugeben.

Beim **Regensburger Wortflüssigkeitstest (RWT)** sollen die Probanden innerhalb von zwei Minuten möglichst viele Wörter aufschreiben, die entweder mit P oder M beginnen. Der Schwierigkeitsgrad, Wörter mit diesen Anfangsbuchstaben zu finden, ist in etwa gleich groß. Beim RWT dürfen keine Wörter mehrfach genannt und keine Eigennamen benutzt werden (z.B. Peter, Paris). Außerdem dürfen die Wörter nicht mit dem gleichen Wortstamm beginnen (z.B. Sport, Sportplatz, Sportschuhe) (Aschenbrenner et al. 2000).

Beim **DRM** (Deese, Roediger & McDermott), der FM herbeiführen soll, werden die Probanden angewiesen, sich die vorgelesenen Wortlisten genau anzuhören, ohne etwas mitzuschreiben und zu versuchen, sich diese Wörter zu merken. Jedes Wort wird dabei nur einmal vorgelesen. Insgesamt handelt es sich bei dieser Studie um 8 Listen á 12 Wörter. Am Computer leuchtet zunächst drei Sekunden lang auf, um welche Liste es sich handelt (z.B. Liste 1), bevor dann die einzelnen Wörter von einer männlichen Tonbandstimme deutlich vorgelesen werden. Dabei wird natürlich das zugehörige FM (z.B. schwarz, Hemd, kalt)

nicht mit vorgelesen. Das Wort, das die stärkste Assoziation zum FM hervorruft, wird als erstes genannt, das schwächste Wort zuletzt.

Liste 1 - schwarz

Weiß, dunkel, Katze, verkohlt, Nacht, Beerdigung, Farbe, Trauer, blau, Tod, Tinte, Schatten

Liste 2 - Hemd

Bluse, Ärmel, Hose, Krawatte, Knopf, Shorts, bügeln, Poloshirt, Kragen, Weste, Tasche, Strickjacke

Liste 3 - kalt

Heiß, Schnee, warm, Winter, Eis, nass, kühl, frostig, Hitze, Wetter, Frost, Luft

Liste 4 - Obst

Apfel, Gemüse, Orange, Kiwi, Zitrone, reif, Baum, Banane, Erdbeere, Kirsche, Korb, Saft

Liste 5 - Dieb

Stehlen, Räuber, Gauner, Einbrecher, Geld, Polizist, böse, ausrauben, Gefängnis, Handtasche, Ganove, Verbrechen

Liste 6 - Mann

Frau, Gatte, Herr, Dame, Maus, maskulin, Vater, stark, Freund, Bart, Person, stattlich

Liste 7 - Löwe

Tiger, Zirkus, Dschungel, Dompteur, Höhle, König, Afrika, Mähne, Käfig, Raubkatze, Gebrüll, wild

Liste 8 - Spinne

Netz, Insekt, behaart, Schreck, Fliege, Schlange, krabbeln, Tarantel, Gift, Biss, gruselig, Tier

Beim DRM wird den Probanden gesagt, dass sie versuchen sollen, sich die Wörter so genau wie möglich zu merken, weil sie später wieder abgefragt werden.

Beim **FM Free Recall** haben die Probanden soviel Zeit wie sie möchten, um alle Wörter der Lernaufgabe, an die sie sich noch erinnern, zu notieren. Dabei sollen sie sich einigermaßen sicher sein, dass das jeweilige Wort tatsächlich in einer der Listen vorkam; sie sollen nicht raten.

Der **Fragebogen zu Tages- bzw. Nachtaktivitäten** sollen die Probanden stichwortartig angeben, was sie zwischen 9 Uhr bis 12 Uhr, 12 Uhr bis 14 Uhr, 14 Uhr bis 16 Uhr, 16 Uhr

bis 19 Uhr bzw. 21 Uhr bis 24 Uhr, 24 Uhr bis 2 Uhr, 2 Uhr bis 4 Uhr und 4 Uhr bis 7 Uhr gemacht haben.

Der **Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R)** befasst sich mit folgenden Fragen:

Konnten Sie, nachdem Sie sich schlafen gelegt hatten, gleich einschlafen? Dabei reichten die Antwortmöglichkeiten von „ja“ über „nein, erst nach 10, 20, 40, 60 Minuten“ und „erst nach mehr als einer Stunde“ bis zu „Ich konnte überhaupt nicht schlafen.“

Falls die Probanden mit „nein“ geantwortet hatten, waren sie dazu aufgerufen noch die Gründe dafür anzugeben, warum sie nicht einschlafen konnten, seien es persönliche oder berufliche Probleme, Geräusche im Zimmer, Beschäftigung mit Tagesereignissen oder die ungewohnte Schlafumgebung.

Es wurden Einzelheiten zur Einschlafphase wie Muskelzuckungen in Armen und Beinen und plötzliche, deutliche Bildeindrücke abgefragt, außerdem ob die Probanden nach dem Einschlafen wieder aufgewacht sind. Falls die Probanden aufgewacht sind, sollten sie die Gründe dafür angeben (persönliche oder berufliche Probleme, Geräusche im Zimmer oder von draußen, Ich musste zur Toilette, Ich hatte schlecht geträumt) und wie lange sie ungefähr wach gewesen sind. Daneben wurde nach Träumen, den Gefühlen dabei und deren ungefährem Inhalt sowie nach Nachtschweiß und Kopfschmerzen gefragt. Zuletzt sollten die Probanden noch Angaben zur Schlafqualität allgemein (gleichmäßig, tief, gut, entspannt, ungestört, ruhig, ausgiebig), ihrer Situation und Anspannung vor dem Schlafengehen (sorglos, erschöpft, schlafbedürftig, überfordert, ausgeglichen, ruhig, müde, entspannt) machen, außerdem, wie anstrengend der vorangegangene Tag für die Probanden war und dazu, wie sie sich am gegenwärtigen Morgen fühlen (ausgeglichen, dösig, tatkräftig, munter, frisch, ausgeschlafen, entspannt). Bei diesen drei letzten Fragen konnten Angaben zwischen „sehr“, „ziemlich“, „mittel“, „wenig“ und „nicht“ gemacht werden.

Beim **Fragebogen zum Ziel der Studie** sollen die Probanden folgende Fragen beantworten:

Haben Sie nach dem Lernen noch mal über die Wortlisten nachgedacht?

Haben Sie mit jemandem über die Wortlisten gesprochen?

Was glauben Sie, worum es in diesem Experiment ging?

Die **Genehmigung der Ethikkommission** erfolgte am 26. Januar 2007 mit dem Aktenzeichen 06-217.

## 8. Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an Prof. Dr. Jan Born für den Arbeitsplatz und das Überlassen des Materials. Daneben möchte ich mich bei Prof. Dr. Jan Born und Susanne Diekelmann für das Thema und die hilfreichen Ratschläge und Unterstützung bedanken. Ganz besonders möchte ich mich noch einmal bei Susanne Diekelmann für die exzellente Betreuung bedanken.

Ein weiterer Dank gilt meiner Familie insbesondere meinen Eltern Rupert Speidel und Gabriele Speidel, die mich stets aufgemuntert und mir ihre Hilfe angeboten haben, meiner Schwester Susan Speidel, die jederzeit bereit war, mit mir über das Thema dieser Arbeit zu diskutieren. Für das Korrekturlesen möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Vater Rupert Speidel, bei meiner Schwester Susan Speidel und insbesondere auch bei meiner Tante Sabine Köberle-Lange bedanken. Ein ganz besonderer Dank geht an meinen Freund Johannes Schneeweiß, der mich bei jeder erdenklichen Frage und bei auftretenden Problemen geduldig unterstützt und beraten hat.

## 9. Lebenslauf

Alice Maren Speidel

Geburtsdatum: 06. September 1984

Geburtsort: Ulm, Deutschland

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: ledig

Eltern: Vater: Rupert Anton Speidel, Facharzt für Psychiatrie

Mutter: Gabriele Speidel (geb. Köberle), Gymnasiallehrerin

Geschwister: Manuel Köberle, 02. November 1974, Polizist

Timo Speidel, 30. Januar 1986, Student

Arne Speidel, 11. Oktober 1987, Student

Susan Speidel, 28. Mai 1989, Studentin

Linda Speidel, 07. März 1992, Schülerin

Schullaufbahn:	1991-1995:	Grundschule Michelsberg
	1995-2004:	Kepler-Gymnasium Ulm
	2004:	Abitur mit der Note 1,4
Medizinstudium:	Seit 2004:	an der Universität zu Lübeck
	2006:	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung am 04. September 2006 mit der Note 3,0
	Aug-Dez 08	Auslandssemester in Bergen, Norwegen
	Aug 2009	Beginn des Praktischen Jahres
Famulaturen:	1 Monat:	Innere Medizin (Gastroenterologie) an der Universität Ulm (12.02.2007 bis 13.03.2007)
	1 Monat:	Anästhesiologie an der Universität zu Lübeck vom 06. August 2007 bis zum 02. September 2007
	1 Monat:	Neuroendokrinologie am Institut für Neuroendokrinologie der Universität zu Lübeck vom 10. September 2007 bis zum 07. Oktober 2007
	1 Monat:	Dermatologie in der Praxis von Frau Dr. med. Christiane Eisenbeiß in Lübeck vom 25. Februar 2008 bis zum 23. März 2008
Promotion:	April 2007:	Beginn der Doktorarbeit „False Memory“ am Institut für Neuroendokrinologie der Universität zu Lübeck
		Datenerhebung von April 2007 bis August 2007
		Dokumentation von September 2007 bis November 2009
		Unterbrechung wegen Auslandsaufenthalt August bis Dezember 2008
		Fertigstellung Dezember 2009