

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

# **Der Einfluss endogener Reaktivierung im Tiefschlaf auf deklarative Gedächtnisinhalte**

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

vorgelegt von  
Christina Barbara Petersen  
aus Eutin

Lübeck 2009

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

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

Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2010

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 13.12.2010

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>6</b>
1.1. Schlaf .....	6
1.2. Gedächtnis .....	8
1.2.1. Die zeitliche Klassifikation von Gedächtnis .....	8
1.2.2. Die inhaltliche Klassifikation von Gedächtnis .....	9
1.2.3. Vergessen und die Interferenz-Theorie .....	10
1.3. Gedächtnisbildung im Schlaf.....	12
1.3.1. Schlaf und Gedächtniskonsolidierung.....	12
1.3.2. Gedächtnisreaktivierung im Schlaf.....	13
1.3.3. Reaktivierung und Konsolidierung .....	14
1.3.4. Synaptische und systemische Konsolidierung .....	14
1.3.5. Schlaf und Interferenz.....	16
1.3.6. Labilisierung durch Gedächtnisreaktivierung im Wach-Zustand.....	16
1.4. Fragestellung und Hypothese.....	18
<b>2. Methoden.....</b>	<b>19</b>
2.1. Versuchspersonen .....	19
2.2. Design.....	19
2.3. Material.....	20
2.4. Abhängige Variablen .....	21
2.5. Kontrollvariablen .....	21
2.6. Prozedere .....	24
2.7. Statistische Analyse .....	26
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>27</b>
3.1. Versuchspersonen .....	27
3.2. Abhängige Variablen (Gedächtnisleistung).....	27
3.2.1. Lernen des Memory-Spiels .....	28
3.2.2. Erste Abfrage des Memory-Spiels .....	29
3.2.3. Zweite Abfrage des Memory-Spiels .....	29
3.2.4. Lernen des Interferenz-Memory-Spiels .....	31
3.2.5. Erste Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels .....	31

3.2.6. Zweite Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels.....	32
3.3. Kontrollvariablen .....	34
3.3.1. Vigilanztest .....	34
3.3.2. Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT) .....	35
3.3.3. Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) .....	36
3.3.4. Befindlichkeitstest.....	37
3.3.5. Schlaf .....	38
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>41</b>
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>48</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>50</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>55</b>
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen .....	55
Einverständniserklärung .....	57
Fragebogen zu Probandendaten .....	58
Randomisierungsliste.....	59
Regensburger Wortflüssigkeits-Test.....	60
Stanford Schläfrigkeitsskala .....	61
Fragebogen zur Befindlichkeit.....	62
<b>8. Danksagungen.....</b>	<b>63</b>
<b>9. Lebenslauf .....</b>	<b>64</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AZ	aktiver Zustand von Gedächtnisinhalten
EEG	Elektroenzephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
IZ	inaktiver Zustand von Gedächtnisinhalten
LTM	engl.: „long-term-memory“
MT	engl.: “Movement time”
NREM-Schlaf	Non-REM-Schlaf
R	Referenzelektrode
REM-Schlaf	engl.: „rapid-eye-movement“-Schlaf
RWT	Regensburger Wortflüssigkeits-Test
SEM	engl.: „standard error of the mean“ (Standardfehler)
SL	engl.: „sleep latency“ (Einschlaflatenz)
SSS	Stanford Schläfrigkeitsskala
STM	engl.: „short-term-memory“
SWS	engl.: „slow-wave-sleep“ (Tiefschlaf)
SWSL	engl.: “SWS latency” (Tiefschlaflatenz)
S1	1. Testzeitpunkt um ca. 22:00 Uhr in der Schlaf-Nacht
S2	2. Testzeitpunkt um ca. 01:00 Uhr in der Schlaf-Nacht
S3	3. Testzeitpunkt um ca. 08:00 Uhr in der Schlaf-Nacht
Tab.	Tabelle
T1	1. Testzeitpunkt um ca. 22:00 Uhr für beide Nächte
T2	2. Testzeitpunkt um ca. 01:00 Uhr für beide Nächte
T3	3. Testzeitpunkt um ca. 08:00 Uhr für beide Nächte
TST	engl.: „total sleep time“ (Gesamtschlafdauer)
W1	1. Testzeitpunkt um ca. 22:00 Uhr in der Wach-Nacht
W2	2. Testzeitpunkt um ca. 01:00 Uhr in der Wach-Nacht
W3	3. Testzeitpunkt um ca. 08:00 Uhr in der Wach-Nacht

# 1. Einleitung

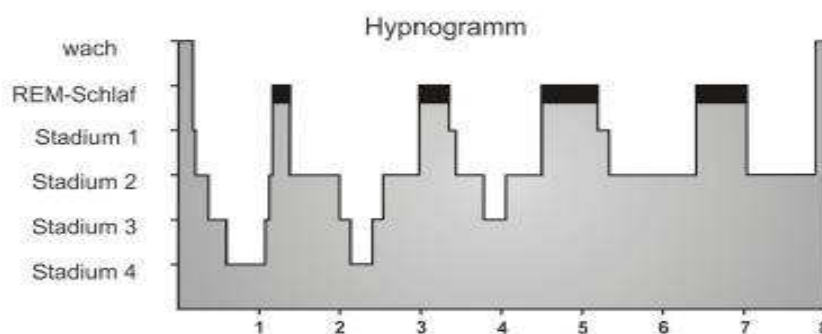
Fast jeder kennt die Situation, dass der Tag viel zu kurz erscheint und man für die Umsetzung der vorgenommenen Dinge gerne noch ein paar Stunden länger Zeit hätte. Da ist der Gedanke nicht weit, ob Schlaf überhaupt sein muss. Immerhin nimmt der Schlaf ungefähr ein Drittel unseres Daseins ein. Es ist erwiesen, dass Schlaf ein lebensnotwendiger, endogen erzeugter Vorgang ist, bei dem sich die Organe und Gewebe durch Aufbau- und Regenerationsvorgänge erholen. In den letzten Jahren wurden wesentliche Erkenntnisse über die Grundlagen des Schlafs und seine unterschiedlichen Funktionen für den Organismus gewonnen. Besonderen Einfluss hat der Schlaf auf das Gedächtnis, und zwar wird die Bildung des Gedächtnisses durch den Schlaf begünstigt (Walker und Stickgold, 2004). Aufgrund dieser wichtigen Funktion des Schlafs in Bezug auf Speicherung von Informationen im Gehirn nahm die Anzahl der Studien in diesem Forschungsbereich in den letzten Jahren zu. Da noch nicht ausreichend geklärt ist, wie genau der Schlaf die Entstehung des Gedächtnisses fördert, liegt das Augenmerk dieser Arbeit auf den zu Grunde liegenden Mechanismen der Gedächtnisbildung im Schlaf, insbesondere auf der Auswirkung der Reaktivierung im Tiefschlaf auf die deklarativen, hippocampalen Gedächtnisinhalte. Diesbezüglich werden zunächst Verständnis-Grundlagen zu Schlaf, Gedächtnis und Gedächtnisbildung im Schlaf vermittelt.

## 1.1. Schlaf

Schlaf ist ein regelmäßig wiederkehrender Erholungsvorgang des Gesamtorganismus, bei dem die Bewusstseinslage herabgesetzt ist und sich die Körperfunktionen ändern. Er läuft in einer bestimmten Periodik ab, die man Schlaf-Wach-Rhythmus nennt. Dieser Rhythmus wird von der *Formatio reticularis* gesteuert, die auch für das Ausschütten bestimmter Hormone zuständig ist, die den Wach- bzw. Schlaf-Zustand beeinflussen. Diese Periodik eines Tages nennt man zirkadiane Rhythmik. Der Schlaf ist ein zyklischer Prozess und lässt sich in verschiedene Schlafphasen einteilen, die man anhand eines Somnogramms unterscheiden kann, welches aus dem Elektroencephalogramm (EEG), dem Elektrookulogramm (EOG) und dem Elektromyogramm (EMG) besteht. Diese Schlafphasen werden nach standardisierten Kriterien (Rechtschaffen und Kales, 1968) eingeteilt. Allgemein gesehen wird der NREM-Schlaf (Non-REM), bei dem Puls, Atemfrequenz und Blutdruck absinken und sich die Gehirnaktivität ändert, von dem REM-

Schlaf unterschieden, der auch als paradoxer Schlaf bezeichnet wird, weil er dem Wach-Zustand ähnelt und Puls, Atemfrequenz und Blutdruck ansteigen. Die kortikale Erregbarkeit ist ebenfalls höher als im NREM-Schlaf, aber nicht auf dem gleichen Level wie im Wach-Zustand (Maquet et al., 2000). Allerdings fällt in dieser Phase der Tonus der quergestreiften Muskulatur völlig ab (Schlafparalyse), bis auf die Muskulatur der Augen, wodurch es zu schnellen Augenbewegungen (Rapid Eye Movement) kommt. In dieser REM-Phase finden demnach die meisten Träume statt. Während einer Nacht wechseln sich NREM-Schlaf und REM-Schlaf regelmäßig ab, wobei zuerst die NREM-Phase durchlaufen wird. Sie wird nochmals in vier aufeinanderfolgende Stadien unterteilt, wobei Stadium 1 und 2 den leichten Schlaf darstellen und Stadium 3 und 4 als Tiefschlaf bezeichnet werden. Diese Stadien lassen sich im Somnogramm anhand der Frequenzen und Amplituden der Wellen unterscheiden. Im Übergang vom Wachzustand zum Schlaf verlangsamt sich zunächst das EEG und der alpha-Rhythmus (8-13 Hz) verschwindet. Von Stadium 1 spricht man, wenn weniger als 50 % alpha-Wellen vorhanden sind. Das Auftreten von Spindeln und K-Komplexen kennzeichnet Schlafstadium 2. Der Tiefschlaf ist durch langsame delta-Wellen (0,5-4 Hz) charakterisiert und wird deshalb auch als slow-wave-sleep (SWS) bezeichnet, wobei im Stadium 3 mehr als 20 % und im Stadium 4 mehr als 50 % dieser delta-Wellen auftreten. Im REM-Schlaf tritt hingegen ein desynchronisiertes EEG mit einer vorwiegenden Frequenz von 2-7 Hz ein, besonders charakteristisch sind die Sägezahn-Wellen im EEG und die schnellen Augenbewegungen im EOG. Nach dem Einschlafen wird also der NREM-Schlaf mit seinen vier Stadien durchlaufen und anschließend geht es in umgekehrter Reihenfolge zurück, bis statt des Wach-Zustandes nach Stadium 1 der REM-Schlaf erreicht wird. Vier- bis sechs Mal wiederholt sich dieser etwa 90 Minuten dauernde Zyklus in der Nacht, was man als Schlafrhythmus bezeichnet, es wechseln sich also Tiefschlafphasen (Stadium 3 und 4), aus denen der Schlafende schwer zu erwecken ist, mit solchen weniger tiefen Schlafs (Stadium 1 und 2) ab. In den REM-Phasen ist der Schläfer genauso schwer erweckbar wie im Tiefschlaf. Sie dauern ca. 20 Minuten, nehmen 20-25 % des Schlafs ein und nehmen gegen Morgen an Häufigkeit und Länge zu, während es sich mit dem Stadium 4 genau anders herum verhält, denn es wird oft nur zu Beginn der Nacht erreicht und später nur noch kurz oder gar nicht mehr (siehe Abbildung 1). Die genaue Funktion des Schlafs ist noch nicht vollständig geklärt. Sicher ist, dass der Schlaf zu den Grundbedürfnissen der Lebewesen gehört und zum Überleben benötigt wird. Während nach Horne (1988) längerer Schlafentzug bei Tieren zu Funktionsstörungen des Organismus führt, kommt es bei

Menschen zu kognitiven und emotionalen Beeinträchtigungen wie Konzentrationsschwäche, Gereiztheit und Gedächtnisstörungen (Borbely, 1984; Cipolli, 1995). Schlaf beeinflusst nach Horne (1988) den Stoffwechsel, die Körpertemperatur, das endokrine System und das Immunsystem, nach Berger und Phillips (1995) die Energieerhaltung des menschlichen Körpers und nach McGinty und Szymusiak (1990) die Thermoregulation des Gehirns. Weiterhin ist Schlaf von besonderer Bedeutung für die Gedächtnisbildung (Heine, 1914; Jenkis und Dallenbach, 1924; Van Ormer, 1932; Cipolli, 1995; Stickgold et al., 1999; Peigneux et al., 2001; Smith, 2001; Maquet, 2001; Stickgold et al., 2001; Walker und Stickgold, 2004; Born et al., 2006).



**Abbildung 1:** Typisches Schlafprofil (aus <http://www.klartraum.de>): Dargestellt ist die Folge der Schlafstadien während einer Nacht. Auf der Abszisse ist die Zeit in Stunden aufgetragen. Die Stadien 1 bis 4 stellen den NREM-Schlaf dar.

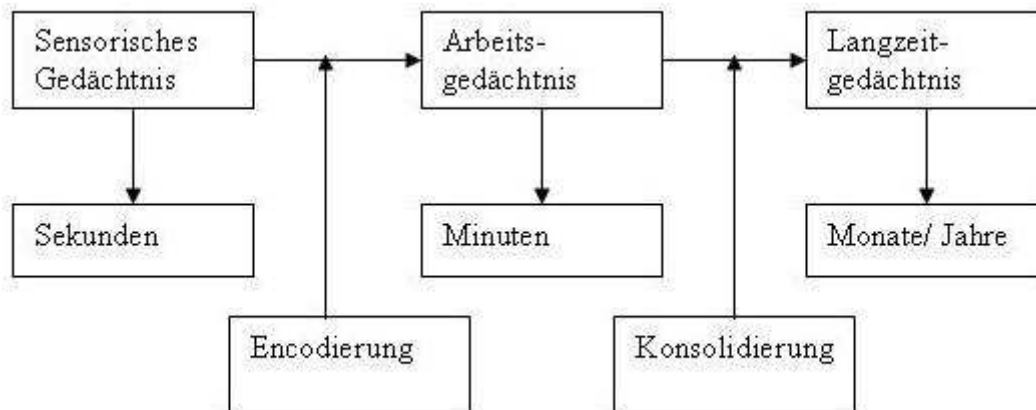
## 1.2. Gedächtnis

### 1.2.1. Die zeitliche Klassifikation von Gedächtnis

Unter Gedächtnis versteht man im Allgemeinen die Fähigkeit des Nervensystems zur Speicherung von Informationen. Auf dem Weg von der Reizaufnahme bis zur Speicherung im Langzeitgedächtnis muss die Information allerdings viele Instanzen durchlaufen. Zunächst wird das sensorische Gedächtnis (Ultrakurzzeitgedächtnis) erreicht, welches die Information aber nur sehr kurz speichert ( $< 1$  s). Während der Großteil der Informationen verloren geht, erreicht ein kleiner Teil das Arbeitsgedächtnis, einen Kurzzeitspeicher, in dem die Informationen einige Sekunden bis Minuten gespeichert bleiben. Da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist und es nur ca. sieben Informationen gleichzeitig speichern kann (Miller, 1956), werden die meisten Daten überschrieben und nur ein geringer Teil erreicht das Langzeitgedächtnis, dessen Speicherkapazität wesentlich größer



ist. Diese Weitergabe nennt man Konsolidierung. Die Verweildauer kann mehrere Jahre betragen (siehe Abbildung 2). Die drei Stadien der Gedächtnisbildung sind demnach der eigentliche Lernprozess, der auch als Encodierung bezeichnet wird, gefolgt von der Konsolidierung, also dem Festigen der Gedächtnisspur im Langzeitgedächtnis, wodurch langfristiges Behalten und der Abruf, der als dritte Instanz angesehen wird, ermöglicht wird (Rosenzweig et al., 2005). Nach dem anfänglichen Lernen (Encodierung) liegt die Information noch in einem labilen, zerbrechlichen Zustand vor und wird schnell vergessen. Die labile Repräsentation wird also mittels der Konsolidierung in einen stabilen Zustand umgeformt und somit im Langzeitgedächtnis verfestigt, und es kann nun zum Abruf der gespeicherten Information kommen.

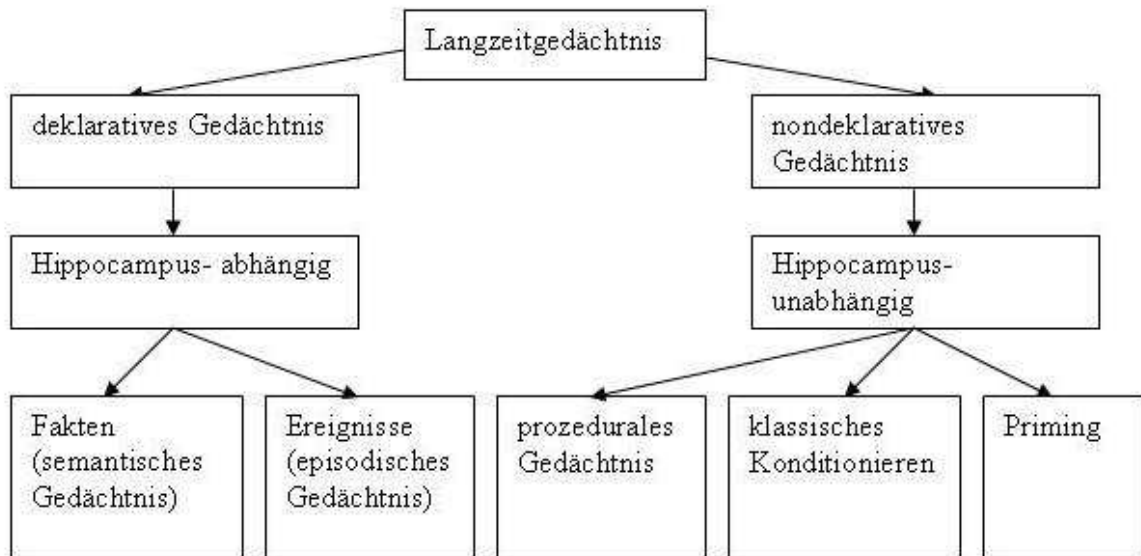


**Abbildung 2:** Gedächtnismodell.

### 1.2.2. Die inhaltliche Klassifikation von Gedächtnis

Bei dem Langzeitgedächtnis unterscheidet man nach Squire (1992) und Squire und Zola (1996) zwei verschiedene Gedächtnisarten, die in unterschiedlichen Gehirnarealen verarbeitet werden, also unabhängig voneinander funktionieren. Im expliziten (deklarativen) Gedächtnis werden Fakten (semantisches Wissen) und Erlebnisse (episodisches Wissen) gespeichert und können bewusst wiedergegeben werden. Unerlässlich für das explizite Gedächtnis ist die intakte Hippocampusfunktion. Das nondeklarative Gedächtnis speichert erlernte Fähigkeiten (prozedurales Gedächtnis) und die Ergebnisse von Konditionierungsvorgängen und Priming. Die Inhalte dieses Gedächtnisses können ohne Einschalten des Bewusstseins wiedergegeben werden wie z.B. Fahrrad fahren oder Flöte spielen. Das prozedurale Lernen ist unabhängig vom

Hippocampus und hauptsächlich im Kleinhirn und in den Basalganglien lokalisiert (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Subsysteme des Langzeitgedächtnisses (vereinfacht nach Squire und Zola, 1996).

### 1.2.3. Vergessen und die Interferenz-Theorie

Von Vergessen spricht man, wenn eine Information nach einem erfolgten Lernvorgang nicht mehr abgerufen werden kann. Nach Ebbinghaus (1885) wird Gelerntes zuerst schnell und dann immer langsamer vergessen (die Ebbinghaus-Kurve veranschaulicht eine logarithmische Geschwindigkeit des Vergessens). Weiterhin spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, so werden sinnlose Informationen schneller vergessen, während emotional erregende Fakten und Informationen mit Selbstbezug länger im Gedächtnis bleiben. Da die Speicherkapazitäten des sensorischen und des Arbeitsgedächtnisses begrenzt sind, werden unwichtige Informationen schnell wieder vergessen, was notwendig ist, denn sonst wäre das Gehirn vollkommen überlastet. Beim Langzeit-Gedächtnis kann man erst von Vergessen sprechen, wenn eine Information, die bereits im Langzeitgedächtnis gespeichert war, nicht mehr abgerufen werden kann. Die genaue Ursache ist noch unklar und es bestehen mehrere Erklärungsansätze: Die Spurenerfall-Theorie, das Fehlen geeigneter Abrufreize und die Interferenz-Theorie (Oberauer und Lewandowski, 2008). Die Theorie des Spurenerfalls besagt, dass der Mensch umso mehr Informationen vergisst, je mehr Zeit nach dem Lernen der Informationen vergeht. Die Gedächtnisspuren verblassen mehr und mehr, werden zunehmend schwächer und verfallen so mit der Zeit, es handelt sich

demnach um einen passiven Prozess. Einige Wissenschaftler sind der Meinung, dass alle Informationen, die einmal ins Langzeitgedächtnis gelangt sind, dort überdauern. Dass einige Informationen zeitweise nicht abgerufen werden können, erklären sie durch das Fehlen bestimmter Abrufreize (Cues), also Reize, die auch während des Lernvorganges vorhanden waren. Das Vergessen stellt also ein Misslingen des Abrufs von gespeicherten Informationen dar (Tulving und Psotka, 1971). Das Problem der Interferenz ist in der Psychologie schon lange bekannt und wird als „Gedächtnishemmung“ bezeichnet (Tücke, 2004). Wenn zwei Gedächtnisinhalte ähnlich sind, können sie sich gegenseitig beeinträchtigen. Es handelt sich hierbei demnach um einen aktiven Prozess, bei dem sich zu verschiedenen Zeitpunkten gelernte Informationen überlagern. Man unterscheidet proaktive, retroaktive und emotionale Interferenz. Bei der proaktiven (vorwärtsgerichteten) Interferenz beeinflusst eine zuvor gelernte Information die darauffolgende. Umgekehrt beeinträchtigt bei der retroaktiven (rückwärtsgerichteten) Interferenz eine später gelernte Information die zuvor gelernte. Bei der emotionalen Interferenz beeinflusst ein erregendes Ereignis nach dem Lernen der Information dessen Behalten. Nach Jenkins und Dallenbach (1924) beeinträchtigt eine Interferenz das Behalten von Gedächtnisinhalten. Zwei Gruppen von Probanden wurden angehalten, sinnarme Silben zu erlernen. Nach einer bestimmten Zeit wurden beide Gruppen abgefragt, wobei in der Zwischenzeit die eine Gruppe geschlafen hatte, die andere wach geblieben war. Die Probanden, die geschlafen hatten, schnitten in der Abfrage wesentlich besser ab als diejenigen, die wach geblieben waren. Das erklärten Jenkins und Dallenbach mit dem Prinzip der retroaktiven Interferenz, denn durch die Aufnahme neuer Gedächtnisinhalte im Wach-Zustand (aktiver Prozess) wurde die Erinnerung an die zuvor gelernten Silben beeinträchtigt. Das lässt darauf schließen, dass mehr dazwischengeschaltetes Lernen zu größerem Vergessen führt. Der Prozess des Spurenerfalls konnte ausgeschlossen werden, denn die Zeitspanne zwischen dem Lernen und der Abfrage war bei beiden Gruppen identisch. Nach McGeoch und McDonald (1931), die ebenfalls ein Experiment zur retroaktiven Interferenz durchführten, wird umso mehr vergessen, je ähnlicher das neue Lern-Material (Interferenz) dem Original-Lernmaterial ist. Wenn z.B. auf das Erlernen einer Liste von Adjektiven das Erlernen einer Liste von Zahlen folgt, werden weniger Adjektive vergessen, als wenn anstelle der Zahlen ebenfalls Adjektive gelernt worden wären. Noch schlechter ist die Gedächtnisleistung, wenn auf die erste Liste eine zweite mit sehr ähnlichen Adjektiven folgt. Die Interferenzwirkung hängt demnach stark von der Ähnlichkeit der Informationen ab. Weiterhin ist ein eingprägter Satz umso widerstandsfähiger gegen nachfolgende Interferenz, je besser er gelernt wurde

(Slamecka, 1960). Underwood (1957), der sich wunderte, dass einige Probanden so viele Silben innerhalb von 24 Stunden vergaßen, fand heraus, dass die Teilnahme an vorherigen ähnlichen Experimenten das Vergessen förderte, das heißt, dass das Behalten umso schlechter ist, je mehr Listen mit Silben in der Vergangenheit gelernt wurden (proaktive Interferenz). 1959 gab es in einer Studie von Barnes und Underwood Hinweise darauf, dass umso mehr Informationen der ersten Liste verloren gehen, je besser die zweite Liste gelernt wird. Waugh und Norman erklärten 1965, dass das Vergessen im Arbeitsgedächtnis vornehmlich von der Zahl der zugeführten Interferenzen abhängt. Nach Anderson (1981) betrifft die Beeinträchtigung durch die Interferenz hauptsächlich den Abruf, nicht so sehr das Encodieren. In seiner Studie erlernten alle Probanden eine Reihe von Stichwörtern, die mit bestimmten Zielwörtern verbunden waren, z.B. „lang“ – „rot“ (A – B). Daraufhin wurden die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt, eine Gruppe mit und eine Gruppe ohne Interferenz. Die Teilnehmer der Interferenz-Gruppe erlernten dieselben Stichwörter, dieses Mal mit anderen Zielwörtern verknüpft, z.B. „lang“ – „kalt“ (A – C), die Nicht-Interferenz-Gruppe erlernte andere Stichwörter, die mit anderen Zielwörtern verknüpft waren, z.B. „gut“ – „kalt“ (D – C). Anderson stellte fest, dass das Ergebnis der Abfrage - und zwar das freie Reproduzieren der jeweiligen Zielwörter - bei der Interferenz-Gruppe schlechter ausfiel als bei der Gruppe ohne Interferenz. Es konnten sich aber alle Versuchspersonen an die jeweiligen Zielwörter erinnern, d.h. diese in einer Liste von vielen Wörtern wiedererkennen.

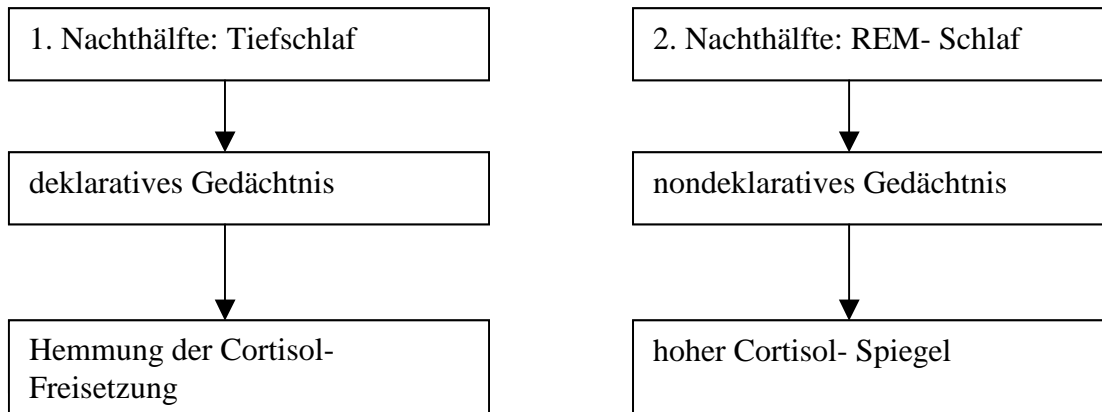
### **1.3. Gedächtnisbildung im Schlaf**

#### **1.3.1. Schlaf und Gedächtniskonsolidierung**

Die Konsolidierung zuvor erworbener Gedächtnisinhalte erfolgt hauptsächlich im Schlaf (Peigneux et al., 2001; Smith, 2001; Maquet, 2001; Stickgold et al., 2001; Born et al., 2006). D.h., wenn auf einen Lernprozess Schlaf folgt, ist die darauffolgende Abfrage erfolgreicher, als wenn die Person stattdessen in dem gleichen Zeitfenster wach bleibt, was bereits im Jahr 1924 durch Jenkis und Dallenbach zur Entdeckung kam.

Nach Plihal und Born (1997), die die Schlafstadien (Tiefschlaf versus REM-Schlaf), die Gedächtnisart (deklaratives versus prozedurales Gedächtnis) und die Cortisolfreisetzung des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrindensystems aufeinander bezogen, passiert

die Konsolidierung, die das hippocampal vermittelte deklarative Gedächtnis betrifft, vornehmlich in der ersten Nachthälfte, die durch Tiefschlaf geprägt ist und mit einer Hemmung der Cortisolfreisetzung einhergeht, während in der zweiten Nachthälfte, die eher durch REM-Schlaf gekennzeichnet ist, der Cortisolspiegel stark ansteigt und die Konsolidierung von prozeduralen Gedächtnisinhalten gefördert wird (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Gedächtnisbildung im Schlaf.

### 1.3.2. Gedächtnisreaktivierung im Schlaf

Die Konsolidierung beruht auf einer unbewussten Reaktivierung der neuen Gedächtnisrepräsentationen im Schlaf nach dem Lernen (McClelland et al., 1995; Buzsaki, 1998; Born et al., 2006). Diese unterschwellige Reaktivierung neuronaler Aktivität im Hippocampus wurde durch mehrere Tierexperimente nachgewiesen (Buzsaki, 1998; Nadasy et al., 1999; Louie und Wilson, 2001; Lee und Wilson, 2002; McNaughton et al., 2003). Die Reaktivierung, die auch als „verdeckt“ bezeichnet wird, weil sie unbewusst geschieht, wurde bei Ratten, die ein räumliches Training im Labyrinth durchmachten, nur im darauffolgenden Tiefschlaf festgestellt (Wilson und McNaughton, 1994). Neuronenverbände, die bei der vorausgegangenen Lernphase im Wach-Zustand an der Enkodierung der Informationen beteiligt waren, waren auch im nachfolgenden Tiefschlaf wieder gemeinsam erregt (Wilson und McNaughton, 1994; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasy et al., 1999; Louie und Wilson, 2001). Maquet et al. zeigten im Jahr 2000 in einer humanexperimentellen Studie mit einem Positronen-Emissions-Scanner (PET), dass die gleichen Regionen im Gehirn, die in der Lernphase aktiv sind, im nachfolgenden Schlaf eine verbesserte Aktivität zeigen. Beim Menschen kommt es nach Mölle et al. (2000) nach einer Lernphase im Tiefschlaf zu einer Steigerung der Kohärenz,

einer Synchronisation neuronaler Aktivität zwischen zwei Cortexarealen. Und zwar wurde die Verstärkung nur bei den positiven Ausschlägen der langsamen delta-Wellen beobachtet, in denen die cortikale Erregbarkeit erhöht ist, nicht aber bei den negativen Ausschlägen. Wahrscheinlich takten die langsamen Oszillationen im Tiefschlaf die Reaktivierung von Gedächtnisinhalten (Huber et al., 2004; Massimini et al., 2004).

### **1.3.3. Reaktivierung und Konsolidierung**

2007 wurde von Rasch et al. die erste Studie durchgeführt, die die Reaktivierung im Tiefschlaf manipulierte - im Experiment ausgelöst durch die Darbietung eines mit den Lerninhalten assoziierten Duftes während des Schlafs. Sie präsentierten den Versuchspersonen während des Lernens einen Rosenduft, der nachfolgend auch während des Tiefschlafs zugeführt wurde. So konnten sie zeigen, dass dieser Prozess die Reaktivierung der Gedächtnisinhalte förderte und damit die nachfolgende Abfrage des gelernten Stoffes wesentlich erfolgreicher war als bei der Kontrollgruppe, die keinen Rosenduft zugeführt bekommen hatte. Somit bestehen Hinweise, dass die erneute Präsentation des während des Lernvorganges dargebotenen Duftes im Tiefschlaf die Konsolidierung des Gedächtnisses fördert. Weitere Kontrollstudien zeigten, dass die Reaktivierung der Informationen, die hier durch Duftpräsentation ausgelöst wurde, nur im Tiefschlaf wirksam ist und sich speziell auf deklarative Gedächtnisinhalte (Bilderpaare des Memory-Spiels) bezieht, für dessen Speicherung der Hippocampus eine wichtige Rolle spielt. Die Frage, ob es im Wach-Zustand durch die Applikation des Duftes zu demselben Effekt kommt, dass die Reaktivierung angeregt und somit die Gedächtniskonsolidierung gefördert wird, konnte abgewiesen werden. Mittels Kernspintomographie wurde gleichzeitig nachgewiesen, dass die Aktivierung des Hippocampus durch die erneute Darbietung des Duftes während des Tiefschlafes stärker ausgeprägt ist als im Wach-Zustand, während des Tiefschlafes scheint der Hippocampus also besonders empfänglich für Stimuli zu sein.

### **1.3.4. Synaptische und systemische Konsolidierung**

Weiterhin stimuliert die Reaktivierung den Transfer von Gedächtnisinhalten vom Hippocampus in den Cortex. Nach Buzsaki (1998) kommt es während der Reaktivierung zu einem „replay“ der Informationen im Hippocampus und daraufhin zu einer Weitergabe

und Integration in den Cortex. Frankland und Bontempi (2005) erklärten, dass sich die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte in mehreren Teilschritten vollzieht. Die erste synaptische Modifikation ereignet sich schnell (innerhalb von Stunden) während der Informationsaufnahme im Wach-Zustand im Hippocampus, wohingegen die systemische Modifizierung im darauffolgenden Tiefschlaf länger andauert und die Information in den Neocortex transferiert (System-Konsolidierung). Maßgeblich beteiligt an der System-Konsolidierung ist der mittlere Temporallappen, insbesondere der Hippocampus. Zuallererst gelangen die neuen Informationen an unterschiedliche Regionen im Cortex, bis sie im Hippocampus zügig gespeichert und geordnet werden. Während des nachfolgenden Schlafs werden die neuen Informationen im Hippocampus spontan reaktiviert, gleichzeitig mit den zugehörigen Gebieten im Neocortex (Buzsaki, 1998; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasy et al., 1999). Diese Reaktivierung führt zu einer stärkeren Verbindung mit den Anteilen des Neocortex, die die neuen Informationen nach einiger Zeit unabhängig vom Hippocampus transferieren. Demnach hat der Hippocampus eine bedeutende Funktion für die temporäre Speicherung von Informationen, während langfristige Gedächtnisinhalte in das cortikale Netzwerk übergehen und dort gespeichert werden. Vereinfacht kann man sagen, dass tagsüber die Informationen im Hippocampus gesammelt (synaptische Konsolidierung) und nachts sortiert in den Neocortex weitergegeben werden (systemische Konsolidierung). Nach Rasch und Born (2007) ist die System-Konsolidierung eine fortlaufende Festigung von Gedächtnisinhalten im Langzeitgedächtnis in Abwesenheit weiterer Lernprozesse, also eine Off-Line-Stabilisierung (ebenfalls Maquet, 2004). Dass der Prozess der System-Konsolidierung im Schlaf stattfindet, hat für Rasch und Born (2007) zwei Gründe: zum Einen, um interferierende externe Einflüsse zu unterbinden, zum Anderen, um die im Wach-Zustand ablaufenden Bearbeitungen von externen Einflüssen nicht zu stören. So können beide Prozesse nebeneinander funktionieren, ohne sich gegenseitig zu behindern. Der „Daten-Transfer“ vom Hippocampus in den Cortex im Tiefschlaf läuft nicht passiv ab, es handelt sich vielmehr um einen aktiven Prozess, bei dem es zu einer Reorganisation und einem Umstrukturieren der frisch encodierten Gedächtnisrepräsentationen kommt (Plihal und Born, 1997; Stickgold et al., 2000; Fischer et al., 2002; Wagner et al. 2004; Rasch und Born, 2007). Das Entstehen des Gedächtnisses ist ein schrittweiser Prozess, der mit einer Integration und Vernetzung der neu aufgenommenen Informationen mit bereits im Langzeitgedächtnis gespeicherten Informationen einhergeht (Rasch und Born, 2007), demnach eine stufenweise Verlagerung in andere neuronale Netzwerke. Neuere Studien

deuten an, dass das Überschreiten von Hippocampus zu Neocortex in weniger als 48 Stunden erreicht werden kann, wenn die neue Information leicht in zuvor existierende Schemata integriert werden kann (Tse et al., 2007). Es hängt also davon an, welche Langzeitgedächtnisinhalte bereits zur Verfügung stehen.

### **1.3.5. Schlaf und Interferenz**

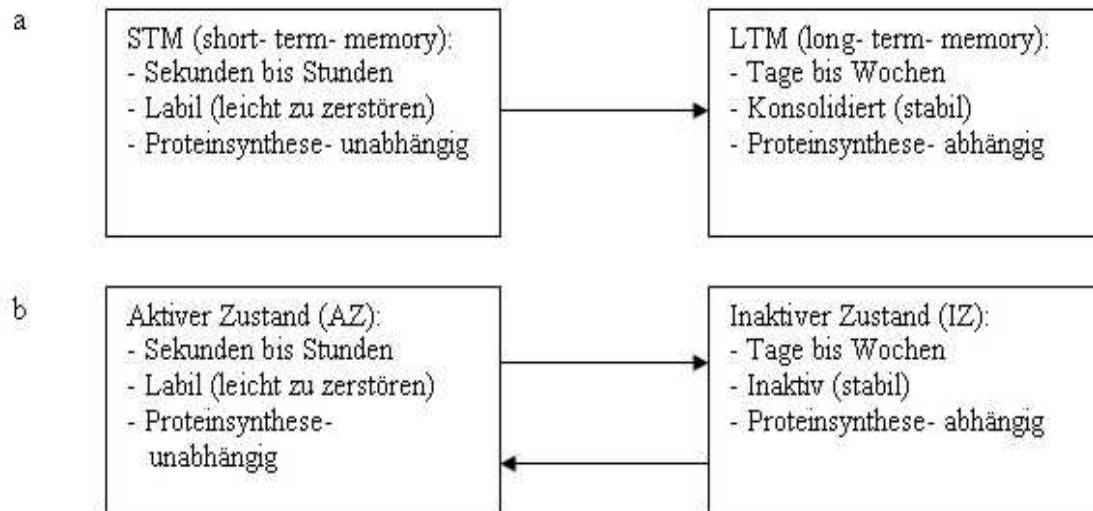
Im Jahr 2006 erkannten Ellenbogen et al., dass der Schlaf die deklarativen Gedächtnisinhalte vor späteren assoziativen Interferenzen schützt. In einer in dieser Form erstmalig durchgeführten Studie sollte eine Gruppe von Versuchspersonen nach dem Lernen von Wort-Paaren schlafen, während eine andere Gruppe im gleichen Zeit-Intervall wach blieb. Beide Gruppen wurden nach zwölf Stunden in je eine Interferenz- und eine Nicht-Interferenz-Gruppe aufgeteilt, wobei nur die Interferenz-Gruppe zwölf Minuten vor der Abfrage noch eine neue Liste mit Wort-Paaren lernen musste. Anschließend wurden beide Listen abgefragt, die Nicht-Interferenz-Gruppe musste nur die erste Wort-Liste wiedergeben. Die erfassten Daten zeigten, dass die deklarativen Gedächtnisinhalte stabil gegenüber Interferenzen sind, die nach dem Schlaf zugefügt werden. Der Schlaf, insbesondere der Tiefschlaf, festigt die deklarativen Gedächtnisinhalte und schützt sie so vor nachfolgenden Interferenzen, während im Wach-Zustand eine Interferenz das Gelernte überlagern kann (Ellenbogen et al., 2006).

### **1.3.6. Labilisierung durch Gedächtnisreaktivierung im Wach-Zustand**

Der Gedanke, dass neue Gedächtnisinhalte initial labil und zerbrechlich sind (short-term-memory, STM), bevor sie dauerhaft fest gespeichert (konsolidiert) werden (long-term-memory, LTM), besteht schon lange (Hebb, 1949; Glickmann, 1961; McGaugh, 1966; siehe Abbildung 5a). Hinweise dafür geben Studien, in denen Elektroschocks, die kurz nach dem Lernen zugefügt wurden (betrifft STM), Amnesie verursachten. Wurden die Elektroschocks dagegen erst einige Stunden später zugefügt (betrifft LTM), hatten sie keine Auswirkung auf die Gedächtnisleistung (Duncan, 1949). Neuere Erkenntnisse widersprechen dieser Hypothese, dass einmal konsolidierte Gedächtnisinhalte fest im Langzeitgedächtnis verankert bleiben (Przybylski und Sara, 1997; Sara et al., 1999; Sara, 2000). Nach Nader (2003) kann die Reaktivierung einer konsolidierten Information im Wach-Zustand diese wieder in eine labile, empfindliche Form überführen, aus dem die



Gedächtnisspur modifiziert, verstärkt, geändert oder gelöscht werden kann. Die erneute Festigung aus dem instabilen Zustand nach Abruf der Gedächtnisinhalte (Reaktivierung) wird als Rekonsolidierung bezeichnet (Spear, 1973; Przybylski und Sara, 1997; Nader et al., 2000). Schon Misani et al. erkannten 1968, dass dieser Prozess der Rekonsolidierung nur nach Reaktivierung der Gedächtnisinhalte erfolgen kann. Beide Vorgänge, sowohl die Konsolidierung als auch die Rekonsolidierung, sind abhängig von der Proteinsynthese (Nader et al., 2000; Nader, 2003). Die Prozesse, die während des anfänglichen Lernvorgangs ablaufen, unterscheiden sich zum Teil von denen der Rekonsolidierung, aber ein Großteil ist gleich (Przybylski und Sara, 1997; Roulet and Sara, 1998; Sara et al., 1999; Sara, 2000). Mansuy et al. zeigten 1998, dass Gedächtnisspeicherung (Konsolidierung), Gedächtnisabfrage und dessen Rekonsolidierung an gemeinsamen Prozessen teilhaben. Die Gedächtnisinhalte werden durch Reaktivierung in Form einer Abfrage im Wach-Zustand labil und benötigen erneute Konsolidierung (Rekonsolidierung) zur erneuten Festigung (Przybylski und Sara, 1997; Litvin und Ankohin, 2000). Nader et al. (2000) lieferten in ihrer Studie Hinweise dafür, dass der Abruf von Gedächtnisinhalten - nach deren Konsolidierung - diese wieder in einen labilen, zerbrechlichen Zustand versetzt. Bei Versuchen mit Ratten entdeckten sie, dass durch die Injektion eines Protein-Synthese-Inhibitors (Anisomycin) in den Corpus lateralis des Corpus amygdaloideum direkt nach der Abfrage von zuvor gelernten Informationen die Rekonsolidierung gehemmt wird und somit beim erneuten Abruf Amnesie resultiert. Die Tiere, die vor der Injektion von Anisomycin keinem Abruf unterzogen worden waren, waren bei der späteren Abfrage nicht amnestisch. Nader fasste 2003 zusammen, dass die Gedächtnis-Bildung aus Konsolidierung und Rekonsolidierung besteht, Konsolidierung als Festigung nach jedem Lernprozess mit neuen Informationen und Rekonsolidierung nach jedem Abruf, also ebenfalls ein Festigen der Information aus einem labilen Zustand - nach deren Reaktivierung im Wach-Zustand. Durch beide Prozesse wird die Information aus einem aktiven, labilen, zerbrechlichen Zustand in einen inaktiven, stabilen Zustand überführt (siehe Abbildung 5b; dieses Modell wurde bereits 1979 von Lewis aufgestellt, wobei die molekulare Ebene zu der Zeit noch nicht erfasst war).



**Abbildung 5a und b:** Zwei Modelle der Gedächtnisbildung (vereinfacht nach Nader, 2003):

- a) Dieses Modell zeigt die veraltete Theorie. Einmal im Langzeitgedächtnis gefestigte Gedächtnisinhalte sind permanent stabil und persistieren dort.
- b) Konsolidierung und Rekonsolidierung überführen die Informationen Proteinsynthese-abhängig vom Aktiven Zustand in den Inaktiven Zustand. Die Reaktivierung kann diese aber zurück in den Aktiven Zustand befördern (Pfeile in beide Richtungen).

## 1.4. Fragestellung und Hypothese

Ziel dieser humanexperimentellen Studie war es herauszufinden, ob es im Tiefschlaf durch Reaktivierung zu einer Labilisierung von deklarativen, hippocampalen Gedächtnisinhalten und damit zu einer Anfälligkeit für Interferenz direkt nach dem Wecken kommt. Da die konsolidierten Gedächtnisinhalte durch Reaktivierung im Wach-Zustand labilisiert werden, ist es möglich, dass die Reaktivierungsprozesse im Tiefschlaf ebenfalls mit einer vorübergehenden Destabilisierung der Gedächtnisrepräsentationen einhergehen, bevor diese fest im Cortex abgespeichert werden.

**Hypothese:** Die Beeinträchtigung von deklarativen Gedächtnisinhalten durch Interferenz ist stärker, wenn die Interferenz direkt nach dem Wecken aus dem Tiefschlaf erfolgt, als nach einer Wach-Phase.

## **2. Methoden**

### **2.1. Versuchspersonen**

Die Studie wurde mit 16 Probanden/-innen (vier männlichen, zwölf weiblichen) durchgeführt, die zwischen 18 und 35 Jahre alt waren, keine Medikamente einnahmen (außer Kontrazeptiva) und einen regelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus vorwiesen (zwischen 23:00 und 8:00 h). Die Probanden durften drei Wochen vor Beginn und während der Studie keinen Nachtdienst absolvieren. Es waren alle Nichtraucher und hatten weder Grunderkrankungen noch neurologische bzw. psychiatrische Krankheiten. Weiterhin durften sie nicht an anderen Studien teilnehmen, die sich mit dieser überschneiden. An den Versuchstagen waren sie angehalten, um 08:00 Uhr aufzustehen, nicht zu Mittag zu schlafen und normale Mahlzeiten einzunehmen. Weiterhin durften keine außergewöhnlichen körperlichen und geistigen Anstrengungen (z.B. Marathonlauf, Prüfung) vollbracht und weder Koffein noch Alkohol konsumiert werden. Die Versuchspersonen mussten zuvor eine Einverständniserklärung ausfüllen, in der sie die Teilnahme an den Versuchen gegen ein Honorar bewilligten. Damit sich die Probanden an die ungewohnte Umgebung und das Schlafen mit den Elektroden anpassen konnten, wurde vor den Versuchsnächten eine Eingewöhnungsnacht durchgeführt, in der sie von 23:00 Uhr bis 07:00 Uhr mit acht Elektroden schliefen.

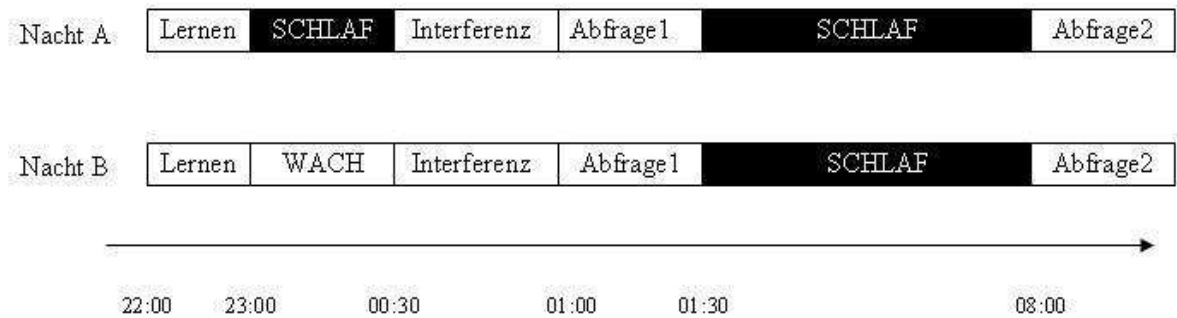
### **2.2. Design**

Für die Studie wurde ein einfaktorielles Design benutzt, wobei die Schlaf- bzw. die Wach-Nacht die Abstufungen des Faktors darstellten.

Die Studie beruhte auf einer Wiederholungsmessung, d.h. jede Versuchsperson durchlief zwei Bedingungen - Schlafen und Wach bleiben. Dadurch umfasste die Studie pro Proband zwei Experimental-Nächte, die sich nur darin unterschieden, dass die Versuchsperson in der einen Nacht um ca. 00:30 Uhr aus dem Schlaf heraus geweckt wurde, während sie in der anderen Nacht bis zu diesem Zeitpunkt wach blieb. In beiden Nächten folgte ab 01:30 Uhr eine Schlaf-Phase (siehe Abbildung 6).

Zwischen den beiden Versuchsnächten musste ein Abstand von mindestens 14 Tagen eingehalten werden. Es handelt sich bei der Studie um eine balancierte Studie, d.h. die eine Hälfte der Probanden absolvierte zuerst die Schlaf- und dann die Wach-Nacht. Bei der

anderen Hälfte wurde genau umgekehrt verfahren, zuerst erfolgte die Wach- und dann die Schlaf-Nacht.

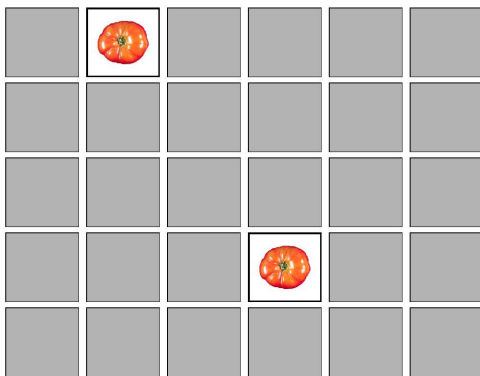


**Abbildung 6:** Studiendesign: Nacht A ist die Schlaf-Nacht und Nacht B ist die Wach-Nacht.

### 2.3. Material

Um die Gedächtnisleistung der Versuchspersonen zu überprüfen, wurde am Computer ein Memory-Spiel mit 15 Bildpaaren verwendet. Im Lerndurchgang wurden die 30 Karten mit den verschiedenen Motiven zunächst zweimal gezeigt, anschließend wurden die Bildpaare abgefragt. Dazu wurde jeweils die eine Karte aufgedeckt, daraufhin musste die Versuchsperson aus den 29 restlichen Karten diejenige mit dem Mauszeiger anklicken, unter der sie die passende vermutete (siehe Abbildung 7). Es gab zwei verschiedene Versionen des Memorys, Version A und Version B, die sich in der Art der Motive unterschieden. Weiterhin gab es zu diesen beiden Memory-Varianten jeweils auch ein Interferenz-Memory (also auch Version A bzw. B), das sich von der jeweiligen ursprünglichen Version nur in der Position der zweiten Karte eines Bildpaares unterschied. Beinhaltete das Memory-Spiel der Version A beispielsweise das Kartenpaar X – Y, so hatte die Interferenz-Memory-Version A das Kartenpaar X – Z. Die Memory-Version wurde für das eigentliche Lernen am Abend um 22:00 Uhr, das Interferenz-Memory in der Nacht um ca. 00:30 Uhr eingesetzt. Dabei wurden stets identische Versionen verwendet, also entweder A für beide oder B für beide. Welche Version für welche Versuchsnacht (Wach oder Schlaf) benutzt wurde, wurde durch Randomisierung ermittelt (siehe Anhang). Bei der Abfrage im ersten Lerndurchgang um 22:00 Uhr gab es mehrere Durchgänge. Die Versuchspersonen wurden so oft abgefragt, bis sie 60 % der Memory-Paare richtig aufgedeckt hatten. Bei der Abfrage im Interferenz-Memory-Lernprozess um ca. 00:30 Uhr gab es nur einen Durchgang, unabhängig davon, wie viel Prozent richtig aufgedeckt worden waren. Weiterhin wurden die Versuchspersonen vor dem Lernen des Interferenz-

Memorys um ca. 00:30 Uhr dazu angehalten, zur Aktivierung des Kreislaufes an die frische Luft zu gehen und zehn Kniebeugen auszuführen. Beim Erlernen des Memory- und Interferenz-Memory-Spiels gab es immer ein Feedback für die Versuchspersonen, d.h. sie bekamen den richtigen Ort der zweiten Karte eines Paares noch einmal zu sehen. Dagegen gab es bei der Abfrage der beiden Spiele um ca. 00:30 Uhr und um ca. 08:00 Uhr kein Feedback, die Versuchspersonen wussten also nie, ob ihre Erinnerungen an die Plätze der Karten der Wahrheit entsprachen.



**Abbildung 7:** Memory-/Interferenz-Memory-Spiel.

## 2.4. Abhängige Variablen

In dieser Studie stellt die Gedächtnisleistung die abhängige Variable dar, und zwar ist damit die Anzahl erinnerter Kartenpaare im Memory- bzw. Interferenz-Memory gemeint, jeweils für die Bedingungen Schlaf- vs. Wach-Nacht und 1. Abfrage vs. 2. Abfrage.

## 2.5. Kontrollvariablen

Um mögliche Störfaktoren auszuschließen und Begründungen für Fehlverhalten zu eruieren, wurden weitere Einflussfaktoren wie Aufmerksamkeit, subjektives Befinden und Schlaf hinzugezogen und dadurch weitere Variablen registriert.

Um Aufmerksamkeit und Reaktionsfähigkeit der Versuchspersonen während der verschiedenen Phasen des Lernens bzw. Abfragens zu beurteilen, wurde ein zehn Minuten andauernder Vigilanztest benutzt, bei dem in unregelmäßigen Zeitabständen auf der rechten oder linken Seite des Computer-Bildschirmes ein roter, runder Punkt erscheint, den

die Versuchspersonen so schnell wie möglich erkennen und dieses durch das Drücken der zuvor festgelegten rechten (M-Taste) bzw. linken Taste (X-Taste) zeigen musste.

Bei dem Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT), der in sechs Versionen zur Verfügung stand, sollten die Probanden innerhalb von genau zwei Minuten möglichst viele verschiedene Wörter aufschreiben, und zwar wurde ihnen dazu einer der vier Anfangsbuchstaben P, M, K bzw. B oder eine der beiden Kategorien Berufe bzw. Hobbys genannt. Welche Version zu welchem Testzeitpunkt in welcher Bedingung (Schlaf vs. Wach) verwendet wurde, wurde durch Randomisierung ermittelt (siehe Anhang: Randomisierungsliste).

Um das subjektive Befinden der Versuchspersonen zu erfahren, mussten die Probanden zwei Fragebögen ausfüllen, bei dem ersten handelte es sich um die Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS), um den Grad der Schläfrigkeit festzustellen. Die Versuchsperson musste zwischen den sieben Kategorien „Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach“, „Ich funktioniere sehr gut, aber nicht mit Spitzenleistung; ich kann mich konzentrieren“, „Ich bin wach, aber entspannt; ich kann reagieren, bin aber nicht voll aufmerksam“, „Ich bin etwas müde, fühle mich schlapp“, „Ich fühle mich müde und verlangsamt; habe keine Lust mehr wach zu bleiben“, „Ich fühle mich schläfrig, benebelt; kämpfe mit dem Schlaf; würde mich lieber hinlegen“ und „Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen; habe traumähnliche Gedanken“ wählen (siehe Anhang).

Der zweite Fragebogen zielte auf die aktuelle Befindlichkeit der Versuchspersonen und beinhaltete sieben Punkte („schläfrig“, „aktiviert“, „angespannt“, „müde“, „gelangweilt“, „motiviert“, „konzentriert“), wobei die Versuchsperson ihre subjektive Empfindung in eine 5-Punkte-Skala eintragen sollte, bei der 1 „gar nicht“ und 5 „sehr“ darstellte (siehe Anhang).

In den Experimentalnächten mussten alle Versuchspersonen zu drei verschiedenen Zeitpunkten den Vigilanztest durchführen, den Regensburger Wortflüssigkeits-Test, die Stanford-Schläfrigkeitsskala und den Fragebogen zur Befindlichkeit ausfüllen. Das geschah vor dem Lernen des Memorys um ca. 22:00 Uhr (Testzeitpunkt T1), nach der 1. Abfrage beider Memorys um ca. 1:00 Uhr (Testzeitpunkt T2) und nach der 2. Abfrage um ca. 8:00 Uhr (Testzeitpunkt T3).

Um den Schlaf der Versuchspersonen zu überwachen und die einzelnen Schlafphasen zu eruieren, wurde ein Polysomnogramm verwendet. Um mehrere Schlaf-Parameter aufzunehmen, kam ein Standard-Polysomnogramm zur Anwendung, das aus

Elektroencephalogramm (EEG), Elektrookulogramm (EOG) und Elektromyogramm (EMG) bestand. Die Aufnahmen erfolgten digital auf einem Brainamp DC 32 Kanal mit einem Verstärker von Brain Products und einer Samplingrate von 200 Hz, einem 0,032 Hz- und einem 35 Hz-Filter. Die dafür benötigten Elektroden wurden in einer standardisierten Methode am Kopf platziert (siehe Abbildung 8) und mit einer Elektrodenpaste fixiert („Genuine Grass EC 2 Electrode Cream“). Für das EEG wurden zwei Elektroden an den Positionen C3 und C4 nach dem 10-20-System angebracht, wobei diese beiden unipolaren Elektroden Bezug zu einer Referenzelektrode (R) hatten, die auf der Nase platziert war. Um die Augenbewegungen (EOG) aufzuzeichnen, wurden zwei weitere Elektroden auf der einen Seite über dem Auge und auf der anderen Seite unter dem Auge angebracht. Für den Muskeltonus am Kiefer (EMG) wurden zwei Elektroden am Kinn fixiert. EOG und EMG wurden als bipolare Ableitungen angebracht. Zur Ableitung (Ground) wurde eine weitere Elektrode auf der Stirn fixiert. Dafür wurde die Haut an der Stelle für die Elektrode mit Alkohol desinfiziert, dann - um den Widerstand zu verringern - mit „everi conductive and abrasive paste“ aufgeraut. Schließlich wurde die Elektrode mit einer speziellen Elektrodenpaste („Genuine Grass EC2 Electrode Cream“) und Klebeband fixiert.

Die polysomnographisch aufgezeichneten Schlafdaten wurden nach den Regeln von Rechtschaffen und Kales (1968) mithilfe des Programmes SchlafAus, Version 1.5.0.1. ausgewertet. Die Schlafstadien wurden in 30-Sekunden-Epochen bestimmt, wobei zwischen Wach-Zustand, Schlafstadium 1, 2, 3 und 4 (in der Analyse als SWS zusammengefasst), REM-Schlaf und Movement time unterschieden wurde. Während in der Wach-Nacht nur ein Datensatz für die zweite Nacht-Hälfte erstellt wurde, lagen nach der Schlaf-Nacht zwei Datensätze für die erste bzw. zweite Nacht-Hälfte vor.



- |         |           |
|---------|-----------|
| 1...    | EEG C4    |
| 10...   | EEG C3    |
| 2...    | EOG       |
| 4...    | EOG       |
| 7; 8... | EMG       |
| 6...    | Reference |
| 9...    | Ground    |

**Abbildung 8:** Positionen für die Elektroden bei der Standard-Polysomnographie.

## 2.6. Prozedere

Den Versuchspersonen wurde zunächst mitgeteilt, dass sie an einer Schlaf- und Gedächtnis-Studie teilnehmen würden und dazu ein Memory-Spiel erlernen müssten, welches anschließend abgefragt würde. In der Nacht um ca. 00:30 Uhr wurde ihnen dann weiterhin verkündet, dass sie ein neues Memory erlernen müssten, welches dann ebenso abgefragt würde, und zwar das erste Mal im Abstand von einer halben Stunde, ein zweites Mal am nächsten Morgen. In den Versuchsnächten begannen die Vorbereitungen um 20:00 Uhr. Dazu gehörte das Beziehen der Betten für die Probanden, das Ausfüllen und Zuordnen der Formulare mit Code und Datum sowie das Zusammensuchen der Utensilien zum Anbringen der Elektroden. Um 20:30 Uhr trafen die Versuchspersonen ein. Nachdem sie eine Einverständnis-Erklärung und den Bogen zu ihren persönlichen Daten ausgefüllt hatten (siehe Anhang), wurden sie mit acht Elektroden für die Polysomnographie verkabelt.

Um ca. 22:00 Uhr begann die Lern-Phase. In beiden Nächten (Schlaf/Wach) wurde an demselben Ort gelernt, und zwar alleine in einem ruhigen Raum. Zuerst mussten die Versuchspersonen die Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) und den Befindlichkeitsbogen ausfüllen, was jeweils ca. eine Minute dauerte. Dann kam der Regensburger Wortflüssigkeits-Test, der zwei Minuten in Anspruch nahm, daraufhin der Vigilanz-Test, der am Computer ausgeführt wurde und ca. zehn Minuten dauerte. Dann mussten die Probanden das Memory lernen. Die Abfrage wurde so oft wiederholt, bis 60 % der Kartenpaare korrekt aufgedeckt waren (siehe S. 20). In Abhängigkeit von der Anzahl der Durchgänge dauerte dieser Vorgang ca. zehn bis 30 Minuten.

Der weitere Verlauf der Nacht richtete sich danach, ob der Proband schlief oder wach blieb (siehe Abbildung 9).

In der Schlaf-Nacht wurde die Versuchsperson um 23:00 Uhr zum Schlafen ins Bett gebracht und daraufhin das Polysomnogramm begutachtet. Nach ca. zehn bis 20 Minuten Tiefschlaf wurde die Versuchsperson direkt aus dieser Schlafphase geweckt, was meist um ca. 00:30 Uhr war.

Um richtig wach zu werden, wurde der Proband dazu animiert, zehn Kniebeugen an der frischen Luft auszuführen. Dann sollte er das Interferenz-Memory lernen.

Die 1. Abfrage erfolgte um ca. 01:00 Uhr. Zuerst wurde das Memory abgefragt, das um ca. 22:00 Uhr, dann das Interferenz-Memory, das um ca. 00:30 Uhr gelernt worden war. Jeder Vorgang nahm ca. fünf Minuten in Anspruch. Daraufhin folgten noch einmal der



Vigilanztest (ca. zehn Minuten), die SSS (ca. eine Minute), der Befindlichkeitsbogen (ca. eine Minute) und der RWT (ca. zwei Minuten).

Um ca. 01:30 Uhr wurde der Proband wieder zum Schlafen ins Bett gebracht, um ca. 07:30 Uhr geweckt und die Elektroden entfernt. Die 2. Abfrage erfolgte um ca. 08:00 Uhr, und zwar in derselben Reihenfolge wie zuvor um 01:00 Uhr, also als erstes die Abfrage des Memorys, das die Versuchsperson um ca. 22:00 Uhr gelernt hatte, dann die Abfrage des Interferenz-Memorys, das um ca. 00:30 Uhr gelernt worden war, dann Vigilanztest, SSS, Befindlichkeitsbogen und RWT. Anschließend wurde der Proband entlassen.

In der Wach-Nacht wurde die Versuchsperson dazu angehalten, nach dem Lernen um 22:00 Uhr wach zu bleiben. Während dieser Zeit durfte sie nicht lernen und weder koffeinhaltige Getränke noch Nahrung zu sich nehmen. Erlaubt waren: lesen, DVD schauen, Spiele spielen. Um ca. 00:30 Uhr wurde die Versuchsperson nach dem Durchführen von zehn Kniebeugen an der frischen Luft dazu aufgefordert, sich das Interferenz-Memory einzuprägen. Die 1. Abfrage erfolgte um ca. 01:00 Uhr, und zwar in derselben Reihenfolge wie in der Schlaf-Nacht. Um ca. 01:30 Uhr wurde der Proband zum Schlafen ins Bett gebracht, morgens um 7:30 Uhr wieder geweckt und die Elektroden entfernt. Die 2. Abfrage fand dann genau wie in der Schlaf-Nacht um 08:00 Uhr statt, ebenso in derselben Reihenfolge.

<b>Uhrzeit</b>	
20:00	Vorbereitungen (Fragebögen kopieren, beschriften, Computer einschalten, Betten überziehen etc.)
20:30	Ankunft Probanden (Einverständniserklärung, Allgemeine Probanden-Daten, Elektroden kleben)
22:00	Lernen
23:00	Bett und Licht aus (für Schlafprobanden)
	<b>SCHLAF oder WACH</b>
00:30	Wecken, Interferenz-Memory lernen
01:00	1. Abfrage
01:30	Bett und Licht aus (für alle Probanden)
	<b>SCHLAF</b>
07:30	Wecken, Elektroden entfernen
08:00	2. Abfrage
08:30	Fragebögen einsortieren, Elektroden reinigen, aufräumen etc.

**Abbildung 9:** Versuchsablauf.

## 2.7. Statistische Analyse

Die statistische Datenauswertung sowohl für die abhängige Variable der deklarativen Gedächtnisaufgabe als auch für die Kontrollvariablen erfolgte anhand von t-Tests für abhängige Stichproben (Schlaf vs. Wach) oder Varianzanalysen mit Messwiederholung (Schlaf vs. Wach und drei Testzeitpunkte). Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha < 0,05$  festgelegt.

Signifikante Effekte wurden durch paarweise t-Tests spezifiziert. Die Freiheitsgrade wurden nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Alle statistischen Berechnungen erfolgten unter Verwendung von SPSS für Windows, Version 15.1.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Versuchspersonen

Insgesamt wurde die Studie mit 25 Probanden/-innen durchgeführt, von denen am Ende der Versuchsreihe acht ausgeschlossen werden mussten, weil sie im ersten Schlafzyklus nicht lange genug im Tiefschlaf geblieben sind, und einer, weil für das Lernen des Memory-Spiels in der Schlaf-Nacht elf Durchgänge benötigt wurden. Die 16 für die Studie verwendbaren Versuchspersonen waren zwischen 18 und 25 Jahre alt, das mittlere Alter lag bei 21,31 Jahren (siehe Tabelle 1). Die Häufigkeit beider Geschlechter ist in Tabelle 2 aufgeführt: Von insgesamt 16 Versuchspersonen waren vier männlich und zwölf weiblich.

**Tabelle 1:** Alter der 16 Versuchspersonen.

	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardfehler</b>
<b>Alter</b>	18	25	21,31	0,60

**Tabelle 2:** Geschlechtsverteilung der 16 Versuchspersonen.

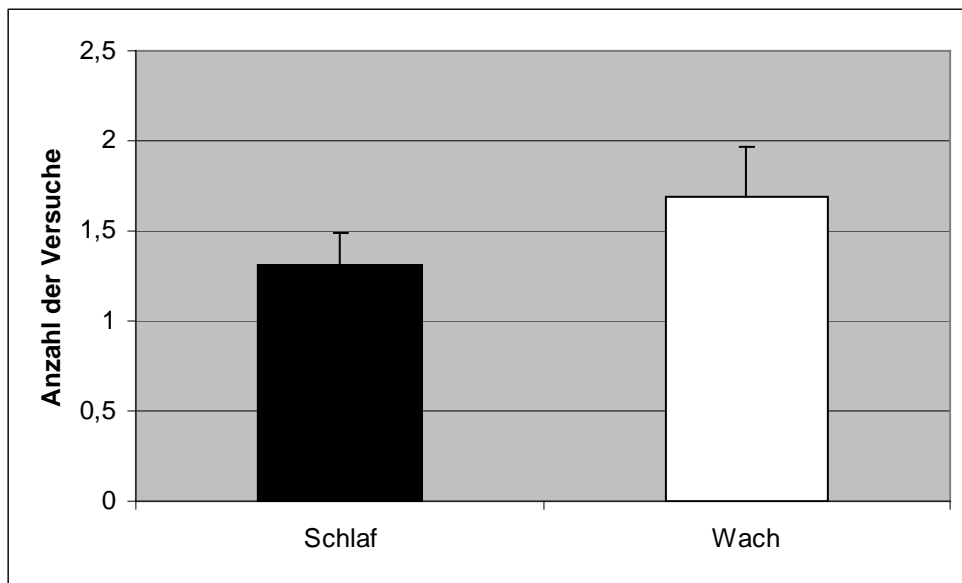
	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
<b>männlich</b>	4	25
<b>weiblich</b>	12	75
<b>n gesamt</b>	16	100

#### 3.2. Abhängige Variablen (Gedächtnisleistung)

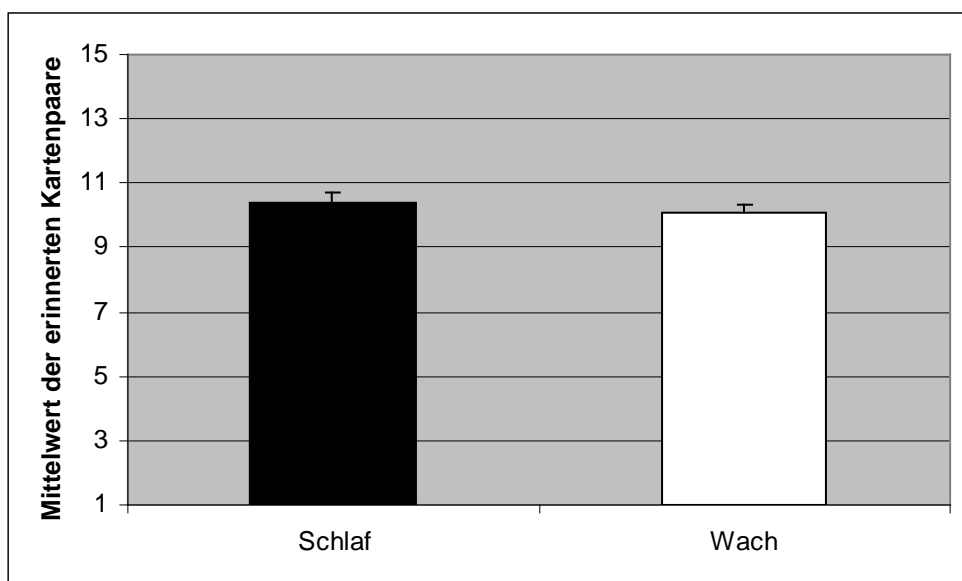
In jeder Experimentalnacht wurden sechs deklarative Gedächtnistests durchgeführt. Bezogen auf das Memory-Spiel waren das die Abfrage nach dem Lernen (ca. 22:00 Uhr), die 1. (ca. 01:00 Uhr) und die 2. Abfrage (ca. 08:00 Uhr). Beim Interferenz-Memory-Spiel waren das ebenfalls die Abfrage nach dem Lernen (ca. 00:30 Uhr), die 1. (ca. 01:00 Uhr) und die 2. Abfrage (ca. 08:00 Uhr).

### 3.2.1. Lernen des Memory-Spiels

Beim Lernen des Memory-Spiels benötigten die Wach-Probanden im Durchschnitt 1,68 ( $\pm$  0,28) Versuche, bis sie 60 % der Kartenpaare korrekt aufgedeckt hatten, während die Schlaf-Probanden im Mittel 1,31 ( $\pm$  0,18) Durchgänge benötigten ( $p = 0,111$ ; siehe Abbildung 10). Bei der Abfrage erinnerte die Schlaf-Gruppe im Durchschnitt 10,38 ( $\pm$  0,35) Kartenpaare korrekt, im Vergleich dazu wurden bei der Wach-Gruppe 10,06 ( $\pm$  0,28) Paare richtig erinnert ( $p = 0,525$ ; siehe Abbildung 11).



**Abbildung 10:** Mittelwerte der benötigten Lern-Durchgänge des Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach mit Standardfehler der Mittelwerte.

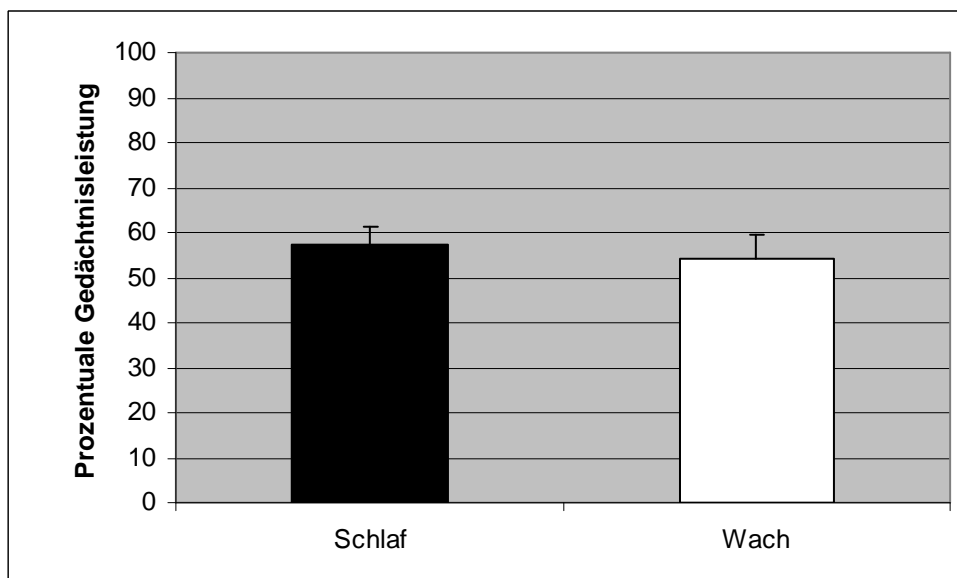


**Abbildung 11:** Mittelwerte der korrekt aufgedeckten Kartenpaare des Memory-Spiels nach dem Lernvorgang von Schlaf vs. Wach mit Standardfehler der Mittelwerte.

### 3.2.2. Erste Abfrage des Memory-Spiels

Die Ergebnisse der 1. Abfrage des Memory-Spiels (um ca. 01.00 Uhr) sind auf das individuelle Lernniveau der Probanden bezogen, d.h. die erinnerten Kartenpaare der 1. Abfrage sind prozentual zu den Ergebnissen der Abfrage unmittelbar nach dem Lernvorgang um 22:00 Uhr angegeben.

Bei der 1. Abfrage des Memory-Spiels zeigten die Schlaf-Probanden deskriptiv bessere Gedächtnisleistungen als die Wach-Probanden, wobei aber keine Signifikanz zu beobachten ist ( $p = 0,503$ ), denn die Versuchspersonen, die geschlafen hatten, hatten im Durchschnitt  $57,5 (\pm 3,63)$  % richtig, während die Versuchspersonen, die wach geblieben waren,  $54,19 (\pm 5,15)$  % korrekt beantworteten (siehe Abbildung 12).

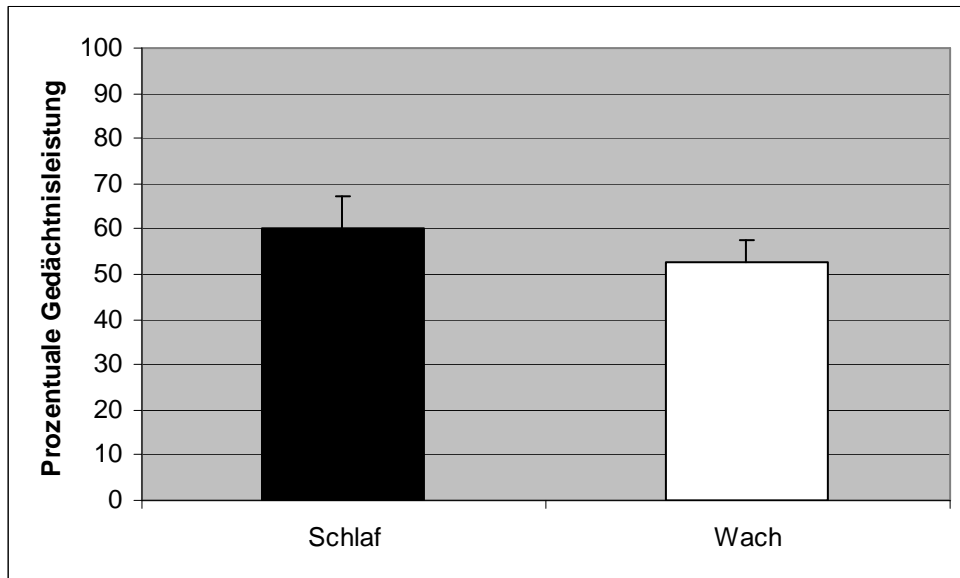


**Abbildung 12:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der Anzahl der erinnerten Kartenpaare der 1. Abfrage des Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf das individuelle Lernniveau mit Standardfehler der Mittelwerte.

### 3.2.3. Zweite Abfrage des Memory-Spiels

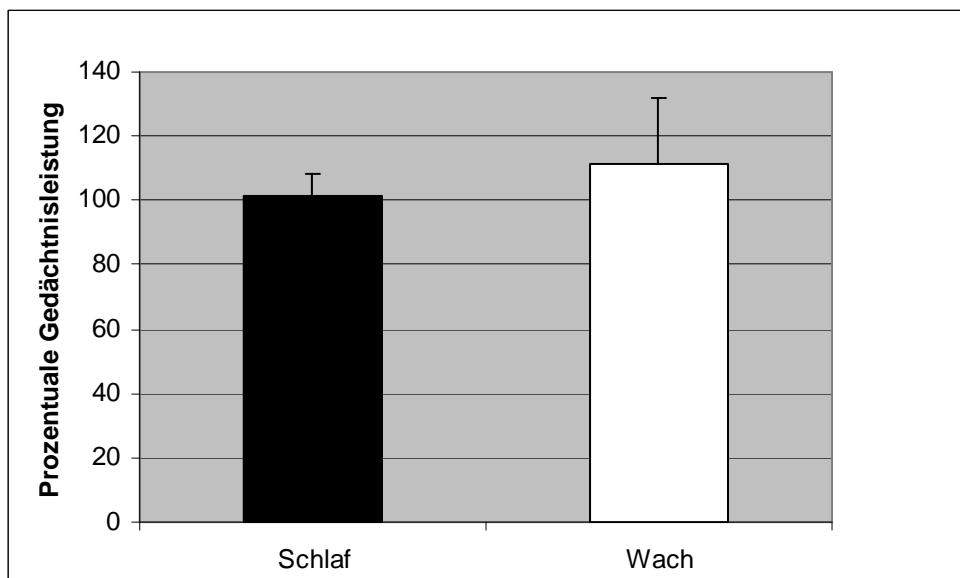
Die Ergebnisse der 2. Abfrage des Memory-Spiels (um ca. 08:00 Uhr) sind zum Einen auf das individuelle Lernniveau bezogen, d.h. die erinnerten Kartenpaare der 2. Abfrage in prozentualer Abhängigkeit von den Ergebnissen der Abfrage unmittelbar nach dem Lerndurchgang um ca. 22:00 Uhr, zum Anderen auf die Ergebnisse der 1. Abfrage, d.h. dass die korrekt gelösten Kartenpaare der 2. Abfrage in Prozent zu den gewussten Kartenpaaren der 1. Abfrage (um ca. 01:00 Uhr) gesetzt wurden.

In der 2. Abfrage des Memory-Spiels in Bezug auf den Lerndurchgang erinnerte die Schlaf-Gruppe 60,21 ( $\pm 6,92$ ) % der Kartenpaare, während die Wach-Gruppe nur 52,44 ( $\pm 4,87$ ) % der Kartenpaaren korrekt aufdeckte ( $p = 0,365$ ; siehe Abbildung 13).



**Abbildung 13:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der 2. Abfrage des Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf den Lernprozess mit Standardfehler der Mittelwerte.

Bei der 2. Abfrage in Bezug auf die 1. Abfrage des Memory-Spiels erinnerten die Schlaf-Probanten 101,53 ( $\pm 6,62$ ) % der Kartenpaare und die Wach-Probanten deckten 111,30 ( $\pm 20,41$ ) % der Kartenpaare korrekt auf ( $p = 0,686$ ; siehe Abbildung 14).

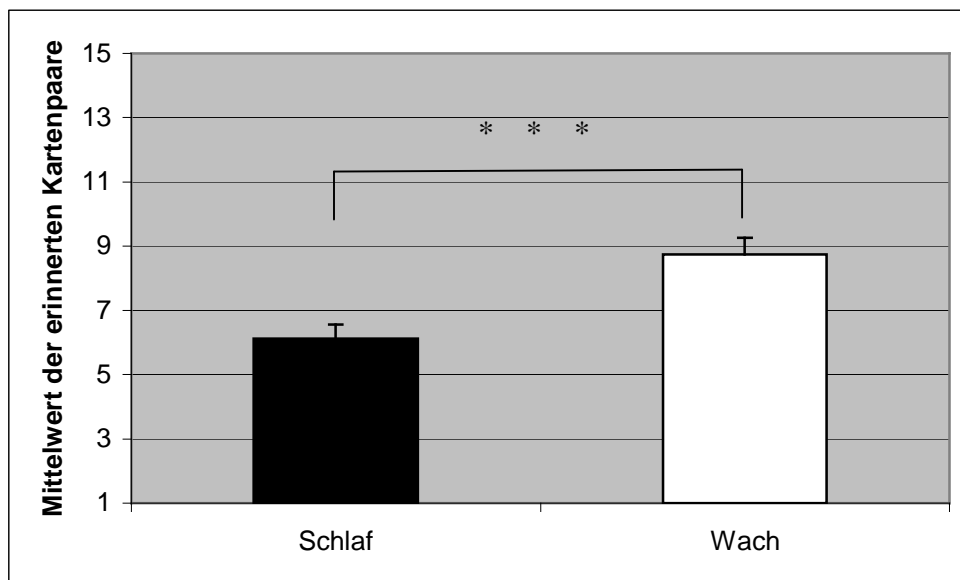


**Abbildung 14:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der 2. Abfrage des Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf die 1. Abfrage mit Standardfehler der Mittelwerte.

### 3.2.4. Lernen des Interferenz-Memory-Spiels

Beim Lernen des Interferenz-Memory-Spiels gab es für alle Versuchspersonen nur einen Lerndurchgang - unabhängig davon, wie viel Prozent der Kartenpaare richtig aufgedeckt worden waren.

Zwischen Schlaf- und Wach-Probanden zeigten sich hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) in der Anzahl der gewussten Kartenpaare direkt nach dem Lernvorgang des Interferenz-Memory-Spiels, und zwar zeigten die Wach-Probanden deutlich bessere Gedächtnisleistungen als die Schlaf-Probanden, denn die Wach-Gruppe erinnerte  $8,75 (\pm 0,51)$  Kartenpaare, während die Schlaf-Gruppe nur  $6,13 (\pm 0,44)$  Kartenpaare korrekt aufdeckte (siehe Abbildung 15).

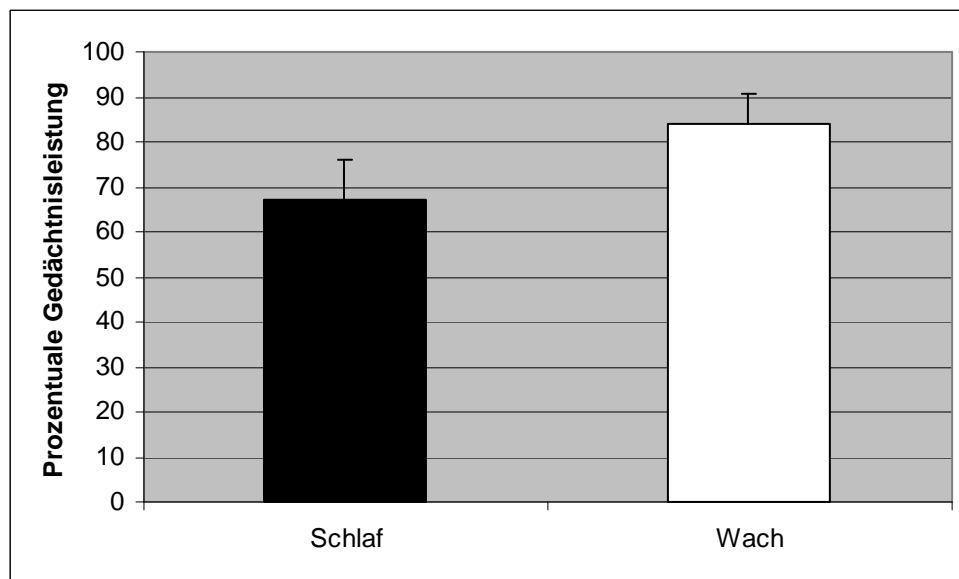


**Abbildung 15:** Mittelwerte der korrekt aufgedeckten Kartenpaare des Interferenz-Memory-Spiels nach dem Lernvorgang von Schlaf vs. Wach mit Standardfehler der Mittelwerte.

### 3.2.5. Erste Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels

Die Ergebnisse der 1. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels (um ca. 01.00 Uhr) sind auf das individuelle Lernniveau der Probanden, d.h. die erinnerten Kartenpaare der 1. Abfrage sind prozentual zu den Ergebnissen der Abfrage unmittelbar nach dem Lernvorgang um 22.00 Uhr angegeben.

Bei der 1. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels erinnerten sich die Wach-Probanden an 83,79 ( $\pm 7,62$ ) % der Kartenpaare, während sich die Versuchspersonen, die geschlafen hatten, an 67,22 ( $\pm 8,22$ ) % erinnerten ( $p = 0,106$ ; siehe Abbildung 16).



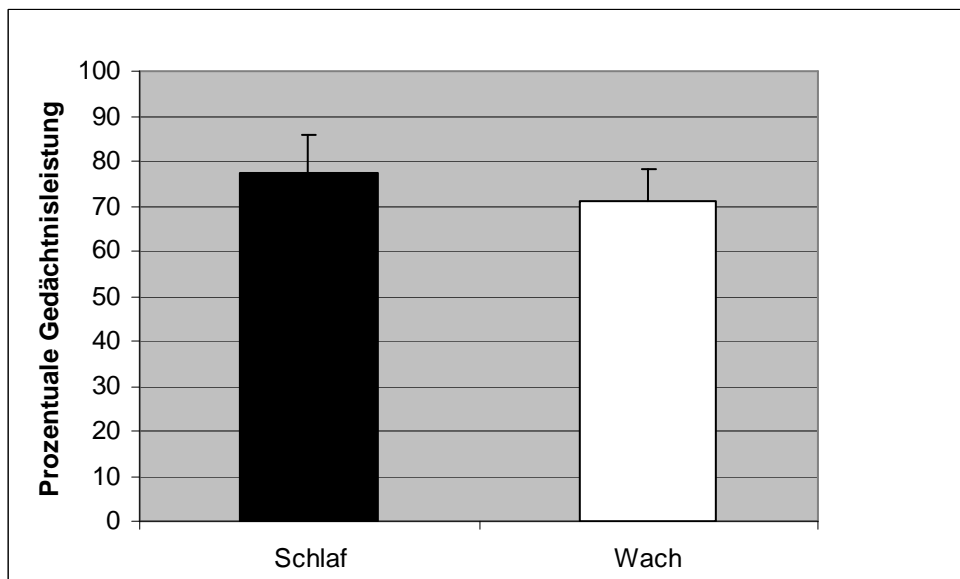
**Abbildung 16:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der 1. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf das individuelle Lernniveau mit Standardfehler der Mittelwerte.

### 3.2.6. Zweite Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels

Die Ergebnisse der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels (um ca. 08:00 Uhr) sind zum Einen auf das individuelle Lernniveau der Probanden bezogen, d.h. die erinnerten Kartenpaare der 2. Abfrage in prozentualer Abhängigkeit von den Ergebnissen der Abfrage unmittelbar nach dem Lerndurchgang um ca. 22.00 Uhr, zum Anderen auf die Ergebnisse der 1. Abfrage, d.h. dass die korrekt gelösten Kartenpaare der 2. Abfrage in Prozent zu den gewussten Kartenpaaren der 1. Abfrage (um ca. 01:00 Uhr) gesetzt wurden.

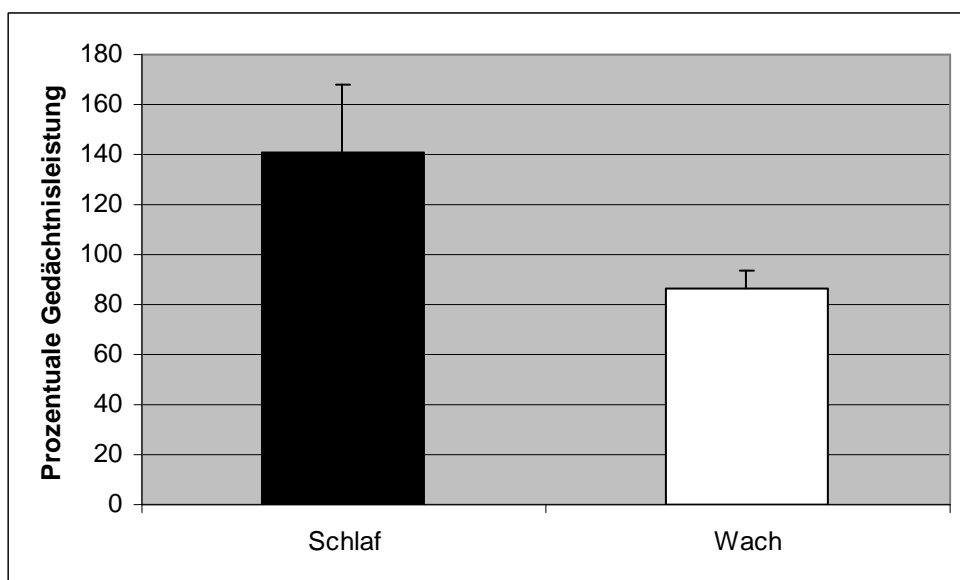
Bei der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels in Bezug auf den Lerndurchgang zeigte die Schlaf-Gruppe eine Gedächtnisleistung von 77,14 ( $\pm 8,67$ ) %, die Wach-Gruppe ein Ergebnis von 71,22 ( $\pm 6,92$ ) % ( $p = 0,604$ ; siehe Abbildung 17).





**Abbildung 17:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf den Lernprozess mit Standardfehler der Mittelwerte.

Bei der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels in Bezug zur 1. Abfrage zeigte sich ein Trend, und zwar erzielten die Schlaf-Probanten eine Gedächtnisleistung von 140,89 ( $\pm$  27,5) % der Kartenpaare, während die Wach-Probanten nur 86,71 ( $\pm$  6,73) % der Kartenpaare korrekt aufdeckten ( $p = 0,059$ ; siehe Abbildung 18).



**Abbildung 18:** Mittelwerte der prozentualen Ergebnisse der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels von Schlaf vs. Wach in Bezug auf die 1. Abfrage mit Standardfehler der Mittelwerte.

### **3.3. Kontrollvariablen**

Die Ergebnisse von Vigilanztest, Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT), Befindlichkeitstest und Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) sind analysiert im Hinblick auf Unterschiede zwischen Schlaf- und Wach-Gruppe (1. Haupteffekt), im Hinblick auf Unterschiede zu den drei Testzeitpunkten (T1: ca. 22:00 Uhr, T2: ca. 01:00 Uhr, T3: ca. 08:00 Uhr; 2. Haupteffekt) und im Hinblick auf Unterschiede zu den drei Testzeitpunkten unter den beiden Bedingungen (Schlaf: S1, S2, S3; vs. Wach: W1, W2, W3; Interaktionseffekt).

#### **3.3.1. Vigilanztest**

Durch den Vigilanztest sollte in Schlaf- und Wach-Nacht die generelle Aufmerksamkeit der Versuchspersonen zu den drei Test-Zeitpunkten ermittelt werden. Es wurden die Reaktionszeit, Versuche mit einer verlängerten Reaktionszeit ( $> 500$  Millisekunden) und die Fehler (falscher Tastendruck) jeweils gesondert analysiert.

Die Reaktionszeit unterschied sich nicht signifikant unter den beiden Bedingungen Schlaf und Wach ( $p = 0,219$ ). Auch im Hinblick auf die unterschiedlichen Testzeiten (T1, T2, T3) gab es keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,204$ ) und die Ergebnisse zu den drei auf die beiden Bedingungen bezogenen Testzeitpunkten zeigten ebenfalls keine signifikanten Differenzen. Jedoch zeigte ein Trend ( $p = 0,085$ ), dass die Reaktionszeiten in der Schlaf-Nacht zu den Zeitpunkten S2 und S3 deutlich länger waren als zu den korrespondierenden Zeitpunkten W2 und W3 in der Wach-Nacht (siehe Tabelle 3). Im Gegensatz dazu reagierten die Schlaf-Probanden zum Zeitpunkt S1 schneller als die Wach-Probanden zum entsprechenden Zeitpunkt W1 (siehe Tabelle 3).

Bei den Versuchen mit einer Reaktionszeit von mehr als 500 Millisekunden unterschieden sich die Schlaf-Probanden nicht wesentlich von den Wach-Probanden ( $p = 0,301$ ). Bei der Analyse der Ergebnisse zu den verschiedenen Testzeitpunkten beobachtete man einen Trend ( $p = 0,073$ ): Besonders viele Versuche mit verlängerter Reaktionszeit traten zum Testzeitpunkt T3 ( $7,89 \pm 2,76$ ) auf, gefolgt von T2 ( $6,68 \pm 1,88$ ) und T1 ( $4,73 \pm 1,47$ ). Im Hinblick auf die drei Testzeitpunkte in Interaktion mit den beiden Bedingungen zeigten sich keine Differenzen ( $p = 0,271$ ; siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3:** Mittelwerte der Reaktionszeiten und Mittelwerte der Procente der Reaktionszeiten > 500 Millisekunden beim Vigilanztest zu den 3 Test-Zeitpunkten (ca. 22:00 Uhr, ca. 01:00 Uhr, ca. 08:00 Uhr) in der Schlaf- und in der Wach-Nacht mit Standardfehler (SEM) der Mittelwerte.

Zeitpunkte	Reaktionszeit in ms $\pm$ SEM	Zeiten > 500 ms in Prozent $\pm$ SEM
Schlaf- Nacht um ca. 22:00 Uhr (S1)	354,25 $\pm$ 10,68	4,53 $\pm$ 1,16
Schlaf- Nacht um ca. 01:00 Uhr (S2)	375,64 $\pm$ 13,74	7,66 $\pm$ 1,87
Schlaf- Nacht um ca. 08:00 Uhr (S3)	375,53 $\pm$ 16,89	9,61 $\pm$ 3,40
Wach- Nacht um ca. 22:00 Uhr (W1)	361,50 $\pm$ 13,46	4,92 $\pm$ 2,27
Wach- Nacht um ca. 01:00 Uhr (W2)	361,94 $\pm$ 13,85	5,70 $\pm$ 2,35
Wach- Nacht um ca. 08:00 Uhr (W3)	355,10 $\pm$ 14,89	6,17 $\pm$ 2,45

Schlaf- und Wach-Gruppe unterschieden sich nicht in der Anzahl der Verfehlungen der zu drückenden Taste ( $p = 1,000$ ), weiterhin gab es keine Differenzen zu den verschiedenen Testzeitpunkten T1 bis T3 ( $p = 0,800$ ), auch nicht zu den verschiedenen Testzeitpunkten in Bezug auf die beiden Bedingungen Schlaf und Wach ( $p = 0,275$ ).

### 3.3.2. Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT)

Der Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT) wurde in Schlaf- und Wach-Nacht zu allen drei Testzeitpunkten eingesetzt, um die generelle Fähigkeit zum Gedächtnisabruf zu prüfen.

Es ergaben sich weder Unterschiede unter Schlaf- und Wach-Bedingung ( $p = 0,976$ ) noch zu den einzelnen Test-Zeitpunkten unter den beiden Bedingungen ( $p = 0,957$ ). Im Hinblick auf die drei Testzeitpunkte bezogen auf Schlaf- und Wach-Nacht zeigten sich allerdings signifikante Unterschiede ( $p = 0,031$ ): Zum Zeitpunkt S1 zeigten die Schlaf-Probanden einem Trend zufolge bessere Leistungen (24,69  $\pm$  1,51 Wörter) als zum entsprechenden Zeitpunkt W1 in der Wach-Nacht (21,56  $\pm$  1,29 Wörter;  $p = 0,055$ ). Weiterhin wussten die Versuchspersonen in der Schlaf-Nacht signifikant ( $p = 0,049$ ) mehr Wörter zum Zeitpunkt S1 (24,69  $\pm$  1,51) als zum Zeitpunkt S3 (22,44  $\pm$  1,41; siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4:** Mittelwerte der aufgeschriebenen Wörter beim Regensburger Wortflüssigkeits-Test zu den 3 Test-Zeitpunkten (ca. 22:00 Uhr, ca. 01:00 Uhr, ca. 08:00 Uhr) in der Schlaf- und in der Wach-Nacht mit Standardfehler des Mittelwertes.

Zeitpunkte	Mittelwert	Standardfehler
Schlaf- Nacht um ca. 22:00 Uhr (S1)	24,69	1,51
Schlaf- Nacht um ca. 01:00 Uhr (S2)	22,75	1,66
Schlaf- Nacht um ca. 08:00 Uhr (S3)	22,44	1,41
Wach- Nacht um ca. 22:00Uhr (W1)	21,56	1,29
Wach- Nacht um ca. 01:00Uhr (W2)	24,19	1,65
Wach- Nacht um ca. 08:00Uhr (W3)	24,19	1,7

### 3.3.3. Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS)

Mit der Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) sollte den Grad der Schläfrigkeit der Versuchspersonen zu den drei Testzeitpunkten ermittelt werden. Die Auswertung der Fragebögen zeigte folgendes Ergebnis:

Die Schlaf-Probanden waren im Durchschnitt signifikant schläfriger ( $3,69 \pm 0,18$ ) als die Wach-Probanden ( $3,13 \pm 0,22$ ;  $p = 0,011$ ). Hoch signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) gab es zu den einzelnen Testzeitpunkten unabhängig von der jeweiligen Bedingung: Zum Testzeitpunkt T2 waren die Versuchspersonen im Durchschnitt am schläfrigsten ( $4,41 \pm 0,22$ ), gefolgt von den Zeitpunkten T1 mit  $3,13 (\pm 0,21)$  und T3 ( $2,69 \pm 0,21$ ). Unterschiede zu den drei Testzeitpunkten unter den verschiedenen Bedingungen gab es nicht ( $p = 0,804$ ). Zwischen Schlaf- und Wach-Probanden gibt es signifikante Unterschiede zum Zeitpunkt T2 ( $p = 0,022$ ) und einen Trend zum Zeitpunkt T3 ( $p = 0,088$ ). In beiden Fällen war die Schlaf-Gruppe schläfriger als die Wach-Gruppe.

Weiterhin gab es hochsignifikante Differenzen ( $p < 0,001$ ) zu den verschiedenen Testzeitpunkten in der Schlaf-Nacht: Die Schläfrigkeit war am stärksten ausgeprägt zum Zeitpunkt S2, weniger zum Zeitpunkt S1 und am geringsten zum Zeitpunkt S3. Auch in der Wach-Nacht traten hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zu den drei Testzeitpunkten auf: Zum Zeitpunkt W2 waren die Probanden am schläfrigsten, weniger zum Zeitpunkt W1 und am geringsten zum Zeitpunkt W3. Demzufolge waren beim Vergleich der Ergebnisse zu den verschiedenen Testzeitpunkten einer Schlaf-Nacht die Unterschiede zwischen den Zeitpunkten S1 und S2 hochsignifikant ( $p < 0,001$ ), dasselbe galt für die Unterschiede zwischen den Zeitpunkten S2 und S3. Nicht signifikant war die Differenz zwischen den Zeitpunkten S1 und S3 ( $p = 0,203$ ). In der Wach-Nacht waren die Unterschiede hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) zwischen den Zeitpunkten W1 und W2 bzw. W2 und W3, aber nicht signifikant ( $p = 0,089$ ) zwischen den Zeitpunkten W1 und W3 (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5:** Mittelwerte der Schläfrigkeit (Kategorie 1-7) bei der Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) zu den 3 Test-Zeitpunkten (ca. 22:00 Uhr, ca. 01:00 Uhr, ca. 08:00 Uhr) in der Schlaf- und in der Wach-Nacht mit Standardfehler des Mittelwertes.

Zeitpunkte	Mittelwert	Standardfehler
Schlaf- Nacht um ca. 22:00 Uhr (S1)	3,38	0,22
Schlaf- Nacht um ca. 01:00 Uhr (S2)	4,75	0,27
Schlaf- Nacht um ca. 08:00 Uhr (S3)	2,94	0,27
Wach- Nacht um ca. 22:00Uhr (W1)	2,88	0,29
Wach- Nacht um ca. 01:00Uhr (W2)	4,06	0,25
Wach- Nacht um ca. 08:00Uhr (W3)	2,44	0,24

### 3.3.4. Befindlichkeitstest

Die Befindlichkeitsskala wurde in beiden Bedingungen an den drei verschiedenen Testzeitpunkten eingesetzt, um das subjektive Empfinden der Versuchspersonen festzuhalten.

Unterschiedliche Angaben machten Schlaf- und Wach-Probanden bei den Adjektiven „schläfrig“, „müde“ und „konzentriert“, und zwar waren die Schlaf-Probanden signifikant ( $p = 0,040$ ) schläfriger ( $3,23 \pm 0,18$ ) als die Wach-Probanden ( $2,85 \pm 0,19$ ) und signifikant ( $p = 0,009$ ) müder ( $3,4 \pm 0,19$ ) als die Wach-Probanden ( $3,02 \pm 0,15$ ). Dagegen war bei der Wach-Gruppe die Konzentration einem Trend zufolge ( $p = 0,060$ ) stärker ausgeprägt ( $3,00 \pm 0,14$ ) als bei der Schlaf-Gruppe ( $2,73 \pm 0,18$ ).

Unterschiede zu den einzelnen Testzeitpunkten waren bei den Empfindungen „schläfrig“, „aktiviert“, „müde“, „motiviert“ und „konzentriert“ zu sehen:

Hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) am schläfrigsten waren die Versuchspersonen zum Zeitpunkt T2 ( $3,94 \pm 0,17$ ), gefolgt von T1 ( $2,66 \pm 0,18$ ) und T3 ( $2,53 \pm 0,25$ ). Auch die Müdigkeit war hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) am stärksten zum Zeitpunkt T2 ( $4,06 \pm 0,13$ ), gefolgt von T1 ( $3,03 \pm 0,22$ ) und T3 ( $2,53 \pm 0,25$ ). Zum Zeitpunkt T3 waren die Versuchspersonen signifikant ( $p = 0,002$ ) am meisten aktiviert ( $3,09 \pm 0,15$ ), gefolgt von T1 ( $2,81 \pm 0,17$ ) und T2 ( $2,38 \pm 0,12$ ), ebenfalls hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) am meisten konzentriert (T3:  $3,22 \pm 0,20$ ), wiederum gefolgt von T1 ( $2,97 \pm 0,17$ ) und T2 ( $2,41 \pm 0,15$ ). Dagegen war die Motivation hochsignifikant ( $p > 0,001$ ) am größten zum Zeitpunkt T1 ( $3,22 \pm 0,17$ ), gefolgt von den Zeitpunkten T3 ( $3,19 \pm 0,18$ ) und T2 ( $2,41 \pm 0,17$ ).

Zwischen den drei Testzeitpunkten zu den einzelnen Bedingungen gab es signifikante Unterschiede bei dem Adjektiv „schläfrig“ ( $p = 0,028$ ), und zwar waren die Schlaf-Probanden zu den Zeitpunkten T1 ( $p = 0,022$ ) und T2 ( $p = 0,015$ ) signifikant schläfriger als die Wach-Probanden, während sich zum Zeitpunkt T3 keine Differenz zeigte ( $p = 0,774$ ). Innerhalb der Schlaf-Gruppe gab es hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ): Die Versuchspersonen waren zum Zeitpunkt S2 am schläfrigsten, weniger schläfrig zum Zeitpunkt S1 und an S3 am wenigsten. Auch bei den Wach-Probanden gab es hochsignifikante Differenzen zwischen den einzelnen Zeitpunkten ( $p < 0,001$ ): Sie waren zum Zeitpunkt W2 am meisten schläfrig, gefolgt von W3 und W1 (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Mittelwerte der Befindlichkeiten zu den insgesamt sieben Empfindungen (in einer 5-Punkte-Skala zu beurteilen) bei dem Befindlichkeitstest zu den 3 Test-Zeitpunkten (ca. 22:00 Uhr, ca. 01:00 Uhr, ca. 08:00 Uhr) in der Schlaf- und in der Wach-Nacht mit Standardfehler (SEM) des Mittelwertes und p-Wert des Interaktions-Effektes.

	S1 ± SEM	S2 ± SEM	S3 ± SEM	W1 ± SEM	W2 ± SEM	W3 ± SEM	p- Wert
„schläfrig“	3,00 ± 0,18	4,19 ± 0,19	2,50 ± 0,32	2,31 ± 0,25	3,69 ± 0,2	2,56 ± 0,22	0,028
„aktiviert“	2,75 ± 0,21	2,31 ± 0,15	3,12 ± 0,18	2,87 ± 0,20	2,44 ± 0,13	3,06 ± 0,14	0,641
„angespannt“	1,88 ± 0,30	1,88 ± 0,18	2,00 ± 0,33	1,69 ± 0,27	1,94 ± 0,21	1,75 ± 0,23	0,504
„müde“	3,31 ± 0,27	4,31 ± 0,18	2,56 ± 0,30	2,75 ± 0,23	3,81 ± 0,13	2,50 ± 0,24	0,239
„gelangweilt“	1,87 ± 0,22	2,19 ± 0,29	2,00 ± 0,22	2,13 ± 0,22	2,19 ± 0,22	1,88 ± 0,22	0,501
„motiviert“	3,31 ± 0,15	2,25 ± 0,19	3,00 ± 0,22	3,13 ± 0,24	2,56 ± 0,18	3,38 ± 0,22	0,110
„konzentriert“	2,69 ± 0,24	2,19 ± 0,16	3,31 ± 0,31	3,25 ± 0,19	2,63 ± 0,16	3,13 ± 0,18	0,124

### 3.3.5. Schlaf

Bei der Auswertung der polysomnographischen Aufzeichnungen der Probanden mussten vier von 16 Probanden ausgeschlossen werden, weil die EEGs aufgrund von technischen Problemen nicht gescort werden konnten. Bei der Analyse der Schlafdaten der übrigen zwölf Probanden war wichtig, dass diese in normalen physiologischen Schlafzyklen ohne häufiges Wachwerden geschlafen hatten.

Bei der Schlaf-Gruppe wurden der erste Teil der Nacht (ca. 23:00 Uhr bis zum Wecken und Zuführen der Interferenz um ca. 00:30 Uhr) und der folgende zweite (ca. 01:30 Uhr bis ca. 07:30 Uhr) getrennt ausgewertet, während bei der Wach-Gruppe gemäß der Versuchsdurchführung nur der zweite Teil (ca. 01:30 Uhr bis ca. 07:30 Uhr) der Nacht vorlag.

Bis zum Wecken und darauffolgendem Zuführen der Interferenz schliefen die Versuchspersonen im ersten Teil der Schlaf-Nacht im Durchschnitt 36,09 (± 2,30) Minuten, die aus 3,97 (± 0,65) Minuten Schlafstadium 1 (S1), 15,00 (± 1,66) Minuten Schlafstadium 2 (S2), 17,03 (± 1,13) Minuten Tiefschlaf (SWS) und 0,09 (± 0,05) Minuten Movement time bestanden. Die Einschlaf latenz, d.h. die Zeit vom Wach-Zustand bis zum Eintreten von Schlafstadium 1, betrug im Mittel 9,97 (± 1,36) Minuten, und die Tiefschlaf latenz, d.h. die Zeit vom Einschlafen bis zur ersten Epoche Schlafstadium 3 oder 4, betrug durchschnittlich 16,41 (± 1,4) Minuten (siehe Tabelle 7).

**Tabelle 7:** Schlaf-Parameter der Schlaf-Probanden für den ersten Teil der Nacht, angegeben in Prozent und Minuten mit dem jeweiligen Standardfehler (SEM).

	<b>Minuten (± SEM)</b>	<b>Prozent (± SEM)</b>
<b>TST (Gesamtschlafdauer)</b>	36,09 ± 2,30	
<b>Wach</b>	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
<b>Schlafstadium 1</b>	3,97 ± 0,65	10,63 ± 1,49
<b>Schlafstadium 2</b>	15,00 ± 1,66	41,01 ± 2,84
<b>SWS</b>	17,03 ± 1,13	48,10 ± 2,66
<b>REM</b>	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
<b>MT (Movement time)</b>	0,09 ± 0,05	0,24 ± 0,13
<b>SL (Einschlaf latenz)</b>	9,97 ± 1,36	
<b>SWSL (Tiefschlaf latenz)</b>	16,41 ± 1,4	

Der zweite Teil der Schlaf-Nacht hielt im Durchschnitt 356,35 (± 7,79) Minuten an, wovon 53,87 (± 1,99) % Schlafstadium 2, 22,1 (± 2,12) % REM-Schlaf, 18,05 (± 2,00) % Tiefschlaf, 4,68 (± 0,70) % Schlafstadium 1, 0,84 (± 0,13) % Movement time und 0,42 (± 0,16) % Wach-Zustand waren. Die Tiefschlaf latenz lag bei 25,81 (± 3,21) Minuten (siehe Tabelle 8).

**Tabelle 8:** Schlaf-Parameter der Schlaf-Probanden für den zweiten Teil der Nacht, angegeben in Prozent und Minuten mit dem jeweiligen Standardfehler (SEM).

	<b>Minuten (± SEM)</b>	<b>Prozent (± SEM)</b>
<b>TST (Gesamtschlafdauer)</b>	356,35 ± 7,79	
<b>Wach</b>	1,54 ± 0,56	0,42 ± 0,16
<b>Schlafstadium 1</b>	16,77 ± 2,54	4,68 ± 0,70
<b>Schlafstadium 2</b>	191,31 ± 7,09	53,87 ± 1,99
<b>SWS</b>	64,62 ± 7,30	18,05 ± 2,00
<b>REM</b>	79,08 ± 7,81	22,13 ± 2,12
<b>MT (Movement time)</b>	3,04 ± 0,52	0,84 ± 0,13
<b>SWSL (Tiefschlaf latenz)</b>	25,81 ± 3,21	

In der Wach-Nacht schliefen die Probanden verglichen mit dem zweiten Teil der Schlaf-Nacht durchschnittlich 334,81 (± 10,59) Minuten, von denen 53,33 (± 2,31) % Schlafstadium 2, 24,24 (± 2,35) % Tiefschlaf, 17,72 (± 2,01) % REM-Schlaf, 3,56 (± 0,7) % Schlafstadium 1, 0,96 (± 0,16) % Movement time und 0,18 (± 0,07) % der Wach-Zustand einnahmen. Die Tiefschlaf latenz betrug 16,47 (± 1,23) Minuten (siehe Tabelle 9).

**Tabelle 9:** Schlaf-Parameter der Wach-Probanden (für den zweiten Teil der Nacht), angegeben in Prozent und Minuten mit dem jeweiligen Standardfehler (SEM).

	<b>Minuten (<math>\pm</math> SEM)</b>	<b>Prozent (<math>\pm</math> SEM)</b>
<b>TST (Gesamtschlafdauer)</b>	334,81 $\pm$ 10,59	
<b>Wach</b>	0,56 $\pm$ 0,23	0,18 $\pm$ 0,07
<b>Schlafstadium 1</b>	11,56 $\pm$ 2,16	3,56 $\pm$ 0,7
<b>Schlafstadium 2</b>	178,81 $\pm$ 10,13	53,33 $\pm$ 2,31
<b>SWS</b>	79,84 $\pm$ 7,30	24,24 $\pm$ 2,35
<b>REM</b>	60,91 $\pm$ 7,20	17,72 $\pm$ 2,01
<b>MT (Movement time)</b>	3,13 $\pm$ 0,53	0,96 $\pm$ 0,16
<b>SWSL (Tiefschlaf latenz)</b>	16,47 $\pm$ 1,23	

Beim Vergleich von Schlaf- und Wach-Probanden im zweiten Teil der Nacht zeigen sich signifikante Unterschiede im prozentualen Anteil an Tiefschlaf ( $p = 0,025$ ) und in Bezug auf die Tiefschlaf latenz ( $p = 0,007$ ): Die Wach-Gruppe wies längere Tiefschlafphasen auf als die Schlaf-Gruppe, und die Zeit vom Einschlafen bis zum Erreichen der Stadien S3 oder S4 war bei den Wach-Probanden wesentlich kürzer als bei den Schlaf-Probanden, weil sie ja im Gegensatz zu den Schlaf-Probanden zuvor noch nicht geschlafen hatten.

Weiterhin zeigt sich ein Trend in Bezug auf den prozentualen Anteil an REM-Schlaf ( $p = 0,093$ ), den Wach-Zustand in Minuten ( $p = 0,088$ ) und den Tiefschlaf in Minuten ( $p = 0,094$ ), und zwar durchläuft die Schlaf-Gruppe mehr REM-Schlaf und ist im Durchschnitt länger wach, während sich die Wach-Gruppe länger im Tiefschlaf befindet (siehe Tabelle 8 und 9).



## 4. Diskussion

Schlaf fördert die Gedächtnisbildung. Es wird angenommen, dass dafür eine unbewusste Reaktivierung der initial im Hippocampus gespeicherten Gedächtnisinhalte im Tiefschlaf verantwortlich ist. Außerdem wurde gezeigt, dass eine Reaktivierung im Wach-Zustand die Gedächtnisrepräsentationen labilisiert und somit anfällig für eine Interferenz macht. Aufgrund dessen wurde in der vorliegenden Studie der Reaktivierungsprozess im Tiefschlaf genauer untersucht. Erwartet wurde, dass auch hier durch die Reaktivierung im Tiefschlaf die zuvor gelernten Informationen in einem labilen, aktiven Zustand vorliegen und somit anfällig sind für eine Interferenz, die direkt nach dem Wecken aus dem Tiefschlaf zugeführt wird. Dementsprechend sollten die alten Informationen von den neuen Repräsentationen überschrieben werden. Die vorliegende Studie untersuchte an gesunden Probanden mithilfe von deklarativen Gedächtnistests die Effekte von zugeführten Interferenzen auf die Reaktivierungsvorgänge von hippocampalen Repräsentationen im Tiefschlaf, wobei das Augenmerk darauf lag, ob dieser Prozess zu einer Labilisierung von zuvor gelernten Informationen führt und damit zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber der Interferenz. Die Ergebnisse zeigen, dass Schlaf- und Wach-Gruppe sich nicht signifikant in der Gedächtnisleistung nach der Interferenz-Zufuhr unterschieden. Die zugeführte Interferenz überschrieb das zuvor gelernte Material, denn im Vergleich zu einem Erinnerungsvermögen von 86 % der gelernten Bilderpaare bei Schlaf-Probanden ohne Interferenz-Input (im Experiment von Rasch et al., 2007) zeigten die Schlaf-Probanden hier nach dem Zuführen der Interferenz nur eine Gedächtnisleistung von 58 %. Dabei wurde die Gedächtnisspur entgegen den Erwartungen bei den Wach-Probanden stärker überschrieben als bei den Schlaf-Probanden, denn die Schlaf-Gruppe zeigte bei der Abfrage des zu Anfang gelernten Stoffes nach der Interferenz nicht - wie vorhergesagt - eine schlechtere, sondern deskriptiv sogar bessere Gedächtnisleistungen als die Kontroll-Gruppe, die wach geblieben und damit nicht dem Tiefschlaf ausgesetzt war. Interessanterweise war der Unterschied zwischen Schlaf- und Wach-Probanden nach der 2. Abfrage sogar noch größer als nach der 1., obwohl beide Bedingungen nach der 1. Abfrage gleich viel Schlaf erhielten. Wahrscheinlich hat also der erste Schlafanteil (der erste Tiefschlaf) einen stärkeren Effekt auf die Gedächtnisbildung.

In den letzten Jahren erweckte die Forschung an den Reaktivierungsvorgängen von deklarativen hippocampalen Gedächtnisinhalten immer größeres Interesse. Es wurde schon mehrfach gezeigt, dass im Tiefschlaf ein unbewusster Reaktivierungsprozess stattfindet,

der die Gedächtnis-Konsolidierung von zuvor gelernten Informationen fördert (McClelland et al., 1995; Buzsaki, 1998; Born et al., 2006). In Tierexperimenten wurde nachgewiesen, dass Neuronengruppen, die während des Lernvorganges aktiv sind, auch im darauffolgenden Tiefschlaf wieder gemeinsam erregt sind (Wilson und McNaughton, 1994; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasy et al., 1999; Louie und Wilson, 2001). Nach diesem „replay“ - der spontanen Reaktivierung im Hippocampus - kommt es zu einem Transfer der Informationen in den Cortex (Buzsaki, 1998), was man auch als System-Konsolidierung bezeichnet (Frankland und Bontempi, 2005). Dieser Vorgang zur Festigung von Gedächtnisinhalten im Langzeitgedächtnis ist eine Off-Line-Stabilisierung (Rasch und Born, 2007), denn im Tiefschlaf werden interferierende, externe Einflüsse unterbunden. Der Tiefschlaf festigt die deklarativen Gedächtnisinhalte und macht sie stabil gegenüber nachfolgenden Interferenzen, während im Wach-Zustand eine Interferenz das Gelernte überlagern kann (Ellenbogen et al., 2006). Die System-Konsolidierung ist ein aktiver Prozess, denn beim Daten-Transfer kommt es zu einer Reorganisation und einem Umstrukturieren der Informationen (Plihal und Born, 1997; Stickgold et al., 2000; Fisher et al., 2002; Wagner et al., 2004; Rasch und Born, 2007) und folgend zu einer Integration und Vernetzung mit bereits gespeicherten Informationen im Langzeitgedächtnis, wobei dies in weniger als 48 Stunden geschehen kann, wenn die neuen Daten leicht in zuvor existierende Schemata integriert werden können (Tse et al., 2007). Die Gedächtnis-Repräsentationen werden durch diese System-Konsolidierung aus einem aktiven, labilen Zustand in einen inaktiven, stabilen Zustand überführt, aber nicht dauerhaft fest gespeichert (Prybylowski und Sara, 1997; Sara et al., 1999; Sara, 2000), denn eine Reaktivierung in Form einer Abfrage im Wach-Zustand kann diese wieder in eine labile, empfindliche Form befördern, die eine erneute Konsolidierung (Rekonsolidierung) zur erneuten Festigung benötigt (Spear, 1973; Prybylowski und Sara, 1997; Litvin und Ankohin, 2000; Nader et al., 2000; Nader, 2003). Dabei haben Konsolidierung, Gedächtnisabfrage und Rekonsolidierung an gemeinsamen Prozessen teil (Mansuy et al., 1998). Wenn die Reaktivierung im Wachzustand die zuvor konsolidierten Gedächtnisinhalte labilisiert, bevor sie durch einen Rekonsolidierungsprozess wieder gefestigt werden, liegt es nahe, dass es beim Reaktivierungsprozess im Tiefschlaf ebenso zu einer Destabilisierung von deklarativen, hippocampalen Gedächtnisrepräsentationen kommt. Dieses ist die erste Studie, die diese Fragestellung konkret untersuchte. Mit den Ergebnissen wurde die Hypothese widerlegt, denn die Schlaf-Probanden zeigten in der Abfrage nach der Interferenz-Zufuhr im Vergleich zu den Wach-Probanden (Kontroll-Gruppe) nicht - wie vorhergesagt -

schlechtere, sondern deskriptiv sogar bessere Gedächtnisleistungen, was bedeutet, dass die zugeführte Interferenz (Interferenz-Memory) die alten Gedächtnisinhalte (Memory) nicht so stark wie erwartet überschrieben hat. Demnach können die Gedächtnisinhalte beim Lernen der Interferenz nicht in einem labilen Zustand vorgelegen haben, was verschiedene Gründe haben kann.

Es könnte sein, dass es anders als erwartet im Tiefschlaf während des Reaktivierungsprozesses gar nicht zu einer Destabilisierung der Gedächtnisrepräsentationen kommt. Vielmehr könnten die Gedächtnisspuren schrittweise stabilisiert werden, denn während des spontanen Reaktivierungsprozesses feuern alle Neuronenverbände, die auch beim vorangegangenen Lernprozess aktiv waren, gemeinsam, und mit jeder Aktivierung könnte es zu der Bildung fester Neuronenverbindungen zwischen Hippocampus und Cortex kommen, die dann stabil bestehen bleiben (cortikales Netzwerk; Buzsaki, 1998; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasy et al., 1999). Es könnte also sein, dass durch den Gebrauch einer Synapse die Verbindung verstärkt wird und damit die Reaktivierung im Tiefschlaf direkt zu einer Stabilisierung führt.

Weiterhin wäre denkbar, dass die Informationen tatsächlich durch die Reaktivierung im Tiefschlaf labilisiert werden, direkt danach jedoch im Tiefschlaf wieder stabilisiert werden. Demnach wäre der Destabilisierungsprozess nur von kurzer Dauer. Verantwortlich für die sofortige Festigung könnte das besondere Hormonmilieu im Tiefschlaf sein, denn nach Li und Ku (2000) begünstigen PGD 2 und Interleukin-1 den Tiefschlaf, während die Cortisol-Ausschüttung gehemmt wird (Wagner und Born, 2008).

Ferner könnte es gerade durch das Wecken aus dem Tiefschlaf zu einer Festigung der destabilisierten Gedächtnisinhalte kommen. Physiologisch wäre dieses als Schutz des Organismus vor Interferenz anzusehen. Nach einer labilen Phase während des Reaktivierungsprozesses im Tiefschlaf käme es durch verschiedene Hormone und Botenstoffe, die im Wach-Zustand schon nach wenigen Minuten ausgeschüttet werden - wie z.B. das Cortisol, dessen Exkretion im Tiefschlaf noch unterdrückt wird - (Born und Fehm, 1998), zu einer schnellen Stabilisierung der Gedächtnisinhalte.

Gegebenenfalls hätte man eine andere Methode wählen sollen, um die Labilisierung während der Reaktivierung im Tiefschlaf aufzuzeigen. In Tierversuchen kann man leicht mit der Injektion eines Protein-Synthese-Inhibitors (Anisomycin) während des Reaktivierungsvorganges im Wach-Zustand Amnesie hervorrufen (Nader et al., 2000). Dieses kommt für humanexperimentelle Studien nicht in Frage, aber eventuell wäre ein

anderes Verfahren in der Praxis sinnvoller, um näher an den Prozess der Reaktivierung im Tiefschlaf heran zu kommen. Durch die Zufuhr eines Duftes könnte man den Prozess der Reaktivierung leichter analysieren, ohne diesen so stark - wie durch das Wecken - zu beeinflussen. Man weiß aus Erfahrung - und Studien habe dieses bestätigt (Rasch et al., 2007) -, dass Düfte für diese Fragestellung besonders geeignet sind, weil sie ein sehr hohes Potential zum Hervorrufen von Erinnerungen aufweisen und so gut wie keinen störenden Einfluss auf den Schlaf haben.

Dass die Hypothese nicht belegt werden konnte, kann nicht an den Versuchspersonen liegen, denn es beteiligten sich 16 gesunde Probanden zwischen 18 und 35 Jahren, die keine Medikamente einnahmen und einen regelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus vorwiesen. Da die Probanden, die schlecht geschlafen hatten, direkt von der Studie ausgeschlossen wurden, kann auch dies kein Faktor zur Erklärung sein. Durch die vor den Experimentalnächten durchgeführte Eingewöhnungsnacht wurden die Probanden mit der Schlaf-Umgebung und den vorhandenen Bedingungen (Elektroden) vertraut gemacht.

Die Voraussetzung einer ungestörten Tiefschlaf-Phase von durchschnittlich ca. 17 Minuten bis zum Wecken im ersten Schlaf-Zyklus wurde bei allen Probanden in der Schlaf-Nacht erfüllt, so dass die Ergebnisse nicht durch Änderung der Schlafqualität oder Schlafdauer zu erklären sind.

Der Kritikpunkt, dass die Versuchspersonen in den verschiedenen Bedingungen (Schlaf vs. Wach) nicht miteinander vergleichbar sind, kann abgewendet werden, denn in Bezug auf Vigilanz und Wortflüssigkeit gab es weder Unterschiede zwischen Schlaf- und Wach-Probanden noch zu den verschiedenen Testzeitpunkten, d.h., dass in Schlaf- und Wach-Nacht die generelle Fähigkeit zum Gedächtnisabruf bei allen Probanden vorhanden und die allgemeine Aufmerksamkeit identisch war. Allerdings zeigt sich, dass die Schlaf-Gruppe vor dem anfänglichen Lernen etwas aufmerksamer war und der Gedächtnisabruf besser funktionierte als bei der Wach-Gruppe, während es sich vor dem Zuführen der Interferenz und am nächsten Morgen genau anders herum verhielt, d.h., dass die Probanden, die geschlafen hatten, beim Zuführen der Interferenz nicht mehr so aufmerksam waren wie beim anfänglichen Lernprozess, eine Beobachtung, die für die Wach-Probanden nicht zutrifft. Des Weiteren ist in Bezug auf die Schläfrigkeit zu sehen, dass die Schlaf-Probanden schläfriger als die Wach-Probanden waren. Die subjektive Befindlichkeitsskala zeigt auf, dass die Schlaf-Gruppe müder, die Wach-Gruppe dagegen konzentrierter war. Vor dem Zuführen der Interferenz war die Schlaf-Gruppe im Vergleich zur Wach-Gruppe deutlich schläfriger. Diese Ergebnisse könnten eine Erklärung dafür sein, dass die Schlaf-

Probanden beim Erlernen und bei der 1. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels deutlich schlechtere Gedächtnisleistungen zeigten als die Wach-Probanden. Das geringere Lernniveau beim Interferenz-Memory aufgrund stärkerer Schläfrigkeit und dementsprechend herabgesetzter Wahrnehmungsfähigkeit könnte dafür sprechen, dass die Schlaf-Probanden weniger Interferenz bekamen, somit weniger neue Informationen encodierten und deshalb auch bei der 1. Abfrage des anfänglich gelernten Materials etwas besser abschnitten. Das Maß an Interferenz könnte also einen Kritikpunkt darstellen. Allerdings gab es im Vorfeld eine Pilot-Studie, bei der das Interferenz-Memory so oft gespielt wurde, bis die Versuchspersonen - wie bei dem vorausgegangenen Memory-Spiel - 60 % der Karten-Paare korrekt aufgedeckt hatten. Diese Variante hatte jedoch dazu geführt, dass die Schlaf-Probanden aufgrund der durch die größere Schläfrigkeit eventuell herabgesetzten Aufnahmefähigkeit deutlich mehr Durchgänge benötigten und demzufolge einem größeren Maß an Interferenz ausgesetzt waren als die Wach-Probanden. Dadurch zeigten sie bei der folgenden Abfrage schlechtere Gedächtnisleistungen. In der hier vorliegenden Studie wurde unter beiden Bedingungen objektiv gleich viel Interferenz zugeführt, denn die Anzahl der neu gesehenen Memory-Bilder war identisch. Durch das höhere Maß an Schläfrigkeit in der Schlaf-Gruppe könnte es aber zu Differenzen in der Aufnahme-Fähigkeit gekommen sein. Eventuell war auch die Fähigkeit zum Encodieren durch das Wecken aus dem SWS-Schlaf herabgesetzt, was man als Schutz-Mechanismus des Gehirnes vor Interferenz deuten könnte. Infolge des unterschiedlichen Lernniveaus differierte das Maß an Interferenz indirekt, denn durch das geringere Lernniveau in der Schlaf-Gruppe verringerte sich die Interferenz.

Wenn die Schlaf-Gruppe nach der Interferenz-Zufuhr nicht - wie erwartet - schlechtere Ergebnisse erzielte, sondern deskriptiv sogar etwas bessere Gedächtnisleistungen als die Wach-Gruppe zeigte, könnte in Übereinstimmung mit vorherigen Forschungsergebnissen (Ellenbogen et al., 2006) angenommen werden, dass der Tiefschlaf vor nachfolgender Interferenz schützt, während im Wach-Zustand eine Interferenz das Gelernte überlagern kann. In Vorarbeiten wurde gezeigt, dass nach einem Intervall von zwölf Stunden zwischen anfänglichem Lernprozess und Interferenz-Zufuhr die Gruppe, die zwischenzeitlich geschlafen hatte, im Vergleich zu der Wach-Gruppe hochsignifikant bessere Gedächtnisleistungen bei der Abfrage des anfänglichen Lernmaterials zeigte. Im Unterschied zu der vorliegenden Studie wurden die Probanden jedoch nicht direkt aus dem Tiefschlaf geweckt (Ellenbogen et al., 2006). Vor dem Hintergrund dieser Befunde ergibt sich aus der vorliegenden Studie, dass bei den Schlaf-Probanden der Tiefschlaf vor dem

Zuführen der Interferenz vermutlich auch die Gedächtnisspur geschützt hat, was bei den Wach-Probanden nicht der Fall war. Jedoch war in der vorliegenden Arbeit die Schlafzeit wesentlich kürzer als bei Ellenbogen et al. (2006), so dass für diesen Effekt keine Signifikanz zu verzeichnen war.

Bei vergleichbarer Tiefschlaf-Dauer der Schlaf- und Wach-Probanden auf die gesamte Nacht bezogen (in beiden Bedingungen ca. 80 Minuten, siehe Ergebnisse, Tabelle 7, 8, 9) zeigte es sich, dass der Anteil an Tiefschlaf vor dem Zuführen der Interferenz, dem nur die Schlaf-Gruppe ausgesetzt war, möglicherweise von entscheidender Bedeutung für das Behalten des anfänglichen Lernmaterials bzw. für die Resistenz gegenüber der Interferenz ist.

Der positive Effekt von Schlaf auf die deklarative hippocampale Gedächtnisbildung wurde schon oft gezeigt (Peigneux et al., 2001; Smith, 2001; Maquet, 2001; Stickgold et al., 2001; Born et al., 2006), ist hier jedoch nicht signifikant, obwohl die Ergebnisse deskriptiv in dieselbe Richtung gehen. Der Unterschied zwischen Schlaf- und Wach-Gruppe war bei der 1. Abfrage des anfänglich gelernten Materials noch gering, die Schlaf-Gruppe zeigte etwas bessere Gedächtnisleistungen. Dagegen waren bei der 2. Abfrage deutlichere Differenzen zu erkennen. Ursache hierfür könnte die kurze Dauer des Schlafes vor der 1. Abfrage sein, obwohl Nap-Studien zeigen, dass schon sechs bis 36 Minuten positive Wirkungen auf die Gedächtnisbildung haben (Lahl et al., 2008). Andererseits zeigt mehr Schlaf einen stärkeren Effekt, deshalb ergab sich nach der ganzen Nacht ein besseres Resultat. Nach Lahl (2008) ist auch denkbar, dass unmittelbar zu Schlafbeginn Vorgänge der Gedächtniskonsolidierung eingeleitet werden, die auch nachhaltig wirkungsvoll sind, selbst wenn der Schlaf kurze Zeit später abgebrochen wird.

Erwähnenswert ist außerdem, dass die Schlaf-Probanden bei der Abfrage der Interferenz am nächsten Morgen einem Trend zufolge bessere Gedächtnisleistungen zeigten als die Wach-Probanden, obwohl sie im Lerndurchgang hochsignifikant und in der 1. Abfrage deskriptiv schlechtere Ergebnisse erzielten und beide Bedingungen in der Zwischenzeit die gleiche Anzahl an Stunden schliefen. Dabei war der prozentuale Anteil an Tiefschlaf bei den Wach-Probanden sogar höher, weil sie ja im Gegensatz zu den Schlaf-Probanden zuvor noch nicht geschlafen hatten. Es könnte also sein, dass bei der Schlaf-Gruppe ähnliche Gedächtnisinhalte (Interferenzen) schneller in schon durch Tiefschlaf gefestigte Gedächtnisspuren integriert wurden, während das bei der Wach-Gruppe nicht der Fall war.

Um die Frage zu klären, ob die Reaktivierung von Gedächtnisinhalten im Tiefschlaf zu einer Labilisierung der Gedächtnisspur führt, sind weitere Studien notwendig, denn in

der vorliegenden Arbeit zeigte sich kein signifikanter Unterschied der Gedächtnisleistung zwischen Schlaf- und Wach-Gruppe nach Interferenz-Zufuhr, was, wie oben gezeigt, auch an den Versuchsbedingungen gelegen haben könnte.

Da es sein kann, dass durch das Wecken aus dem Tiefschlaf heraus der Vorgang der Labilisierung beeinflusst wird und es möglicherweise zu einer Stabilisierung kommt, müsste eine Folgestudie durchgeführt werden, bei der eine Interferenz direkt im Tiefschlaf zugeführt wird, ohne dass die Probanden geweckt werden. Das könnte so ablaufen, dass die Probanden abends ein Memory lernen, das mit einem Duft assoziiert ist, und darauffolgend ein neues Memory. Normalerweise würden nun die Inhalte des zweiten Memorys im Tiefschlaf gefestigt. Wenn aber im Tiefschlaf nun der Duft des ersten Memorys präsentiert wird, müsste dieser die Gedächtnisspur des zweiten Memorys überschreiben, und am nächsten Morgen würde die Abfrage des zweiten Memorys schlechter ausfallen als die des ersten.

Darüber hinaus könnte man weiter dafür sorgen, dass bei einer zugeführten Interferenz beide Bedingungen auf ein gleiches Lernniveau kommen, d.h., dass die Schlaf-Probanden, die in der vorliegenden Studie schläfriger waren und daher eine herabgesetzte Aufnahmefähigkeit hatten, mehr Zeit für das Lernen der Interferenz bekämen als die Wach-Probanden. Wahrscheinlich wird sich das schwierig gestalten, denn, wie in einer zuvor durchgeführten Pilot-Studie gezeigt, benötigen Schlaf-Probanden ein deutlich höheres Maß an Interferenz als Wach-Probanden, um auf dasselbe Lernniveau zu kommen. Das wiederum hat Einfluss auf die Gedächtnisleistung und macht einen Vergleich schwierig.

Zweifellos müssen noch weitere Studien durchgeführt werden, um die Frage zu klären, ob die Gedächtnisreaktivierung im Tiefschlaf, genau wie im Wach-Zustand, zu einer vorübergehenden Labilisierung der Gedächtnisspuren führt oder nicht.

## 5. Zusammenfassung

**Hintergrund:** Schlaf fördert die Gedächtnisbildung. Es wird angenommen, dass dafür eine unbewusste Reaktivierung der initial im Hippocampus gespeicherten Gedächtnisinhalte im Tiefschlaf verantwortlich ist. Weiterhin wurde gezeigt, dass eine Reaktivierung im Wach-Zustand die Gedächtnisspuren labilisiert und somit anfällig für eine Interferenz macht. Deswegen wurde in der vorliegenden Studie der Reaktivierungsprozess im Tiefschlaf genauer untersucht. Erwartet wurde, dass auch hier durch die Reaktivierung im Tiefschlaf die zuvor gelernten Informationen in einem labilen, aktiven Zustand vorliegen und somit anfällig sind für eine Interferenz, die direkt nach dem Wecken aus dem Tiefschlaf zugeführt wird.

**Methoden:** Die Effekte durch die Einwirkung einer Interferenz direkt nach dem Wecken aus dem Tiefschlaf wurden an 16 Probanden/-innen in einer randomisierten kontrollierten Studie untersucht. Dazu durchliefen alle Versuchspersonen die zwei Bedingungen Schlaf- und Wach-Nacht. In der Schlafnacht wurden die Probanden nach dem anfänglichen Lernprozess aus der ersten Tiefschlaf-Phase (anhand des Polysomnogramms aufgezeichnet) geweckt, dann erfolgte das Zufügen der Interferenz. Die Wach-Probanden dagegen blieben nach dem anfänglichen Lernprozess bis zum Zufügen der Interferenz wach. Die Abfrage des anfänglichen Lernmaterials und dem der Interferenz fand kurz danach und nochmal am nächsten Morgen nach einer Phase statt, in der sowohl Schlaf- als auch Wach-Probanden geschlafen hatten.

**Ergebnisse:** Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Gedächtnisleistung von Schlaf- und Wach-Probanden nach der Interferenz-Zufuhr. Deskriptiv bessere Gedächtnisleistungen erzielte jedoch entgegen den Erwartungen die Schlaf-Gruppe. Beim Lernen der Interferenz hingegen war die Wach-Gruppe der Schlaf-Gruppe hochsignifikant überlegen. Zusätzlich ergaben sich Unterschiede in Bezug auf die Kontrollvariablen zwischen Schlaf- und Wach-Probanden vor dem Zuführen der Interferenz, denn die Versuchspersonen, die geschlafen hatten, waren signifikant schläfriger und die generelle Aufmerksamkeit war herabgesetzt.

**Fazit:** Dass - anders als erwartet - die Gedächtnisinhalte nach dem Wecken aus dem Tiefschlaf nicht so anfällig für Interferenz waren wie nach einer Wach-Phase, könnte daran gelegen haben, dass die Fähigkeit zum Encodieren bei den Schlaf-Probanden aufgrund stärkerer Schläfrigkeit während der Interferenz-Zufuhr herabgesetzt war, wodurch die Wirkung der Interferenz nicht so stark ausfiel wie nach einer Wach-Phase. Es könnte aber



auch sein, dass eine Interferenz, die nach dem Schlaf zugefügt wurde, die zuvor gelernten Inhalte nicht bedeutend beeinträchtigte, sondern dass bereits kurzer Schlaf einen Schutz vor Interferenz darstellt. Ebenso denkbar wäre, dass die während des Reaktivierungsprozesses destabilisierten Gedächtnisspuren entweder direkt im Tiefschlaf oder durch das Wecken aus dem Tiefschlaf wieder stabilisiert wurden.

## 6. Literaturverzeichnis

Anderson JR (1981): Interference: The relationship between response latency and response accuracy. *J Exp Psychol.: Human Learning and Memory*, 7: 326-343.

Barnes JM, Underwood BJ (1959): Fate of first-list associations in transfer theory. *J Exp Psychol.* 58: 97-105.

Berger RJ, Phillips NH (1995): Energy conservation and sleep. *Behav Brain Res*, 69 (1-2): 65-73.

Boberly AA (1984): *Das Geheimnis des Schlafs: Neue Wege und Erkenntnisse der Forschung*: Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.

Born J, Fehm HL (1998): Hypothalamus-pituitary-adrenal activity during human sleep: a coordinating role for the limbic hippocampal system. *Exp Clin Endocrinol Diabetes.*,106 (3): 153-163.

Born J, Rasch B, Gais S (2006): Sleep to remember. *Neuroscientist*, 12: 410-424.

Buzsaki G (1998): Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. *J.Sleep Res.*, 7 Suppl 1: 17-23.

Cipolli C (1995): Sleep, dreams and memory: an overview. *J Sleep Res*, 4: 2-9.

Duncan CP (1949): The retroactive effect of electroconvulsive shock. *J. Comp. Physiol. Psychol.* 42: 32-44.

Ebbinghaus H (1885): *Über das Gedächtnis: Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Neue, unveränd. und ungek. Ausgabe nach der 1. Aufl. 1885. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1992.

Ellenbogen JM, Hubert JC, Stickgold R, Dinges DF, Thompson-Schill SL (2006): Interfering with Theories of Sleep and Memory: Sleep, Declarative Memory, and Associate Interference. *Curr Biol.* 16: 1290-1294.

Fischer S, Hallschmidt M, Elsner AL, Born J (2002): Sleep forms memory for finger skills. *Proc. Natl. Acad.Sci. U S A*, 99: 11987-11991.

Frankland PW, Bontempi B (2005): The organization of recent and remote memories. *Nat. Rev. neurosci.*, 6: 119-130.

Glickmann S (1961): Perservative neural processes and consolidation of the memory trace. *Psychol. Bull.* 58: 218-233.

Hebb DO (1949): *The Organisation of Behavior*, Wiley

Heine R (1914): Über Wiedererkennen und rückwirkende Hemmung. *Z. Psychol.*, 68: 161-236.

- Horne J (1988): *Why we sleep: The Functions of Sleep in Humans and Other Mammals*. Oxford University Press, Oxford, England
- Huber R, Ghilardi MF, Massimini M, Tononi G (2004): Local sleep and learning. *Nature*, 430: 27-28.
- Jenkins JG, Dallenbach KM (1924): Oblivience during sleep and waking. *Am J Psychol.*, 35: 605-612.
- Lahl O, Wispel C, Willigens B, Pietrowsky R (2008): An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *J Sleep Res.* 17 (1): 3-10.
- Lee AK, Wilson MA (2002): Memory of Sequential Experience in the Hippocampus during Slow Wave Sleep, *Neuron* 36: 1183-1194.
- Lewis DJ (1979): Psychology of active and inactive memory. *Psychol. Bull.* 86: 1054-1083.
- Li LH, Ku BS (2000): Regulation of SWS by hormones and cytokines. *Sheng Li Ke Xue Jin Zhan*, 31(1): 30-34.
- Litvin OO, Ankohin KV (2000): Mechanisms of memory reorganisation during retrieval of acquired behavioral experience in chicks: the effects of protein synthesis inhibition in the brain. *Neurosci. Behav. Physiol.* 30: 671-678.
- Louie K und Wilson MA (2001): Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, 29: 145-156.
- Mansuy IM, Winder DG, Moallem TM, Osman M, Mayford RD, Hawkins RD, Kandel ER (1998): Inducible and reversible gene expression with the rtTA system for the study of memory. *Neuron* 21: 257-265.
- Maquet P, Laureys S, Peigneux P, Fuchs S, Petiau C, Phillips C et al. (2000): Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nat. Neurosci.*, 3: 831-836.
- Maquet P (2001): The Role of Sleep in Learning and Memory. *Science*, 294: 1048-1052.
- Maquet P (2004): A role for sleep in the processing of memory traces. Contribution of functional neuroimaging in humans. *Bull Mem Acad R Med Belg.*,59(Pt 2): 167-170.
- Massimini M, Huber R, Ferrarelli F, Hill S, Tononi G (2004): The sleep slow oscillation as a traveling wave. *J Neurosci* 24: 6862-6870.
- McClelland JL, McNaughton BL, O'Reilly RO (1995): Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychol. Rev.*, 102(3): 419-457.
- McGaugh JL (1966): Time-dependent process in memory storage. *Science* 153: 1351-1358.

- McGeoch JA und McDonald WT (1931): Meaningful relation and retroactive inhibition. *Am J Psychol.*, 43: 579-588.
- McGinty D, Szymusiak R (1990): Keeping cool: a hypothesis about the mechanism and functions of slow-wave-sleep. *Trends Neurosci*, 13 (12): 480-487.
- McNaughton B, Barnes C, Battaglia F, Bower MR, Cowen S, Ekstrom A, and others (2003): Off-line reprocessing of recent memory and its role in consolidation: a progress report. In: Maquet P, Smith C, Stickgold R, editors. *Sleep and brain plasticity*. Oxford (UK): Oxford University Press. P 225-246.
- Miller GA (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev.*, 63: 81-97.
- Misani JR, Miller RR, Lewis DJ (1968): Retrograde amnesia produced by electroconvulsive shock after reactivation of consolidated memory trace. *Science* 160: 554-555.
- Mölle M, Schwank I, Marshall L, Klöhn A, Born J (2000): Dimensional complexity and power spectral measures of the EEG during functional versus predicative problem solving. *Brain and Cognition*. Vol.22 No.3, 547-563.
- Nadasdy Z, Hirase H, Czurko A, Csicsvari J und Buzsaki G (1999): Replay and time compression of recurring sike sequences in the hippocampus. *J Neurosci.*, 19: 9497-9507.
- Nader K, Schafe GE, LeDoux JE (2000): Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. *Nature* 406: 722-726.
- Nader K (2003): Memory traces unbound. *Trends Neurosci.*, 26: 65-72.
- Oberauer K, Lewandowski S (2008): Forgetting in immediate serial recall: decay, temporal distinctiveness, or interference? *Psychol Rev.*, 115(3): 544-576.
- 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.
- Przybylski JP, Sara SJ (1997): Reconsolidation of memory after its reactivation. *Behav. Brain Res.* 84: 241-246.
- Rasch B, Born J (2007). Maintaining memories by reactivation. *Curr Opin Neurobiol.*, 17(6): 698-703.
- Rasch B, Büchel C, Gais S, Born J (2007). Odor Cues During Slow-Wave-Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation. *Science*, 315: 1426-1429.
- Rechtschaffen A, Kales A (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Maryland: N.I.H. Publication No. 204.

- Rosenzweig MR, Breedlove SM und Watsen NV (2005): *Biological Psychology. An Introduction to Behavioral and Cognitive Neuroscience*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Roullet P, Sara SJ (1998): Consolidation of memory after its reactivation: Involvement of beta noradrenergic receptors in the late phase. *Neural Plas* 6: 63-68.
- Sara SJ, Roullet P, Przybyslawski J (1999): Consolidation of memory for odorreward association:  $\beta$ -adrenergic receptor involvement in the late phase. *Learn. Mem.* 6: 88-96.
- Sara SJ (2000): Retrieval and reconsolidation: toward a neurobiology of remembering. *Learn. Mem.* 7: 73-84.
- Shen J, Kudrimoti HS, McNaughton, BL, Barnes CA (1998): Reactivation of neuronal ensembles in hippocampal dentate gyrus during sleep after spatial experience. *J Sleep Res.*, 7 Suppl 1, 6-16.
- Siapas AG, Wilson MA (1998): Coordinated interactions between hippocampal ripples and cortical spindles during slow-wave-sleep. *Neuron*, 21: 1123-1128.
- Slamecka NJ (1960): Retroactive inhibition of connected discourse as a function of practice level. *J Exp Psychol.*, 59: 104-108.
- Smith C (2001): Sleep states and memory process in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Behav.*, 43: 213-216.
- Spear N (1973): Retrieval of memory in animals. *Psychol. Rev.*, 80: 163-194.
- Stickgold R, Scott L, Rittenhouse C, Hobson JA (1999): Sleep-induces changes in associative memory. *J. Cogn. Neurosci.*, 11: 182-193.
- Stickgold R, Whidbee D, Schirmer B, Patel V, Hobson JA (2000): Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *J Cogn Neurosci.*, 12: 246-254.
- Stickgold R, Hobson JA, Fosse R, Fosse M (2001): Sleep, Learning, and Dreams: Off-line Memory Reprocessing. *Science*, 294: 1052-1057.
- Squire LR (1992): Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev.*, 99: 195-231.
- Squire LR, Zola SM (1996): Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93: 13515-13522.
- Tse D, Langston RF, Kakeyama M, Bethus I, Spooner PA, Wood ER, Witter MP, Morris RGM (2007): Schemas and Memory Consolidation. *Science* 316: 76-82.
- Tücke M: *Grundlagen der Psychologie für (zukünftige) Lehrer*. Veröffentlicht von LIT Verlag Berlin-Hamburg-Münster, 2004, S. 180-183.

Tulving E, Psotka J (1971): Retroactive inhibition in free recall - Inaccessibility of information available in the memory store. *J Exp Psychol.*, 87: 1-8.

Underwood BJ (1957): Interference and forgetting. *Psychol Rev.*, 64(1): 49-60.

Van Ormer EB (1932): Retention after intervals of sleep and waking. *Archives of Psychology*, 21: 1-49.

Wagner U, Born J (2008): Memory consolidation during sleep: interactive effects of sleep stages and HPA regulation. *Stress*, 11(1): 28-41.

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

Walker MP, Stickgold R (2004): Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron* 44: 121-133.

Waugh NC, Norman DA (1965): Primary memory. *Psychol Rev.*, 72: 89-104.

Wilson MA, McNaughton BL (1994): Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265: 676-679.

<http://www.klartraum.de> (Tag des Zugriffs: 02.09.2008)

## **7. Anhang**

### **Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen**

#### **Abbildungen**

- Abb. 1: Typisches Schlafprofil (S. 8)
- Abb. 2: Gedächtnismodell (S. 9)
- Abb. 3: Subsysteme des Langzeitgedächtnisses (S. 10)
- Abb. 4: Gedächtnisbildung im Schlaf (S. 13)
- Abb. 5a/ b: Zwei Modelle der Gedächtnisbildung (S. 18)
- Abb. 6: Studiendesign (S. 20)
- Abb. 7: Memory-/Interferenz-Memory-Spiel (S. 21)
- Abb. 8: Positionen für die Elektroden bei der Standard-Polysomnographie (S. 23)
- Abb. 9: Versuchsablauf (S. 25)
- Abb. 10: Anzahl der Lern-Durchgänge des Memory-Spiels (S. 28)
- Abb. 11: Korrekt aufgedeckte Kartenpaare des Memory-Spiels nach dem Lernvorgang (S. 28)
- Abb. 12: Prozentuale Ergebnisse der 1. Abfrage des Memory-Spiels (S. 29)
- Abb. 13: Prozentuale Ergebnisse der 2. Abfrage des Memory-Spiels in Bezug auf den Lernprozess (S. 30)
- Abb. 14: Prozentuale Ergebnisse der 2. Abfrage des Memory-Spiels in Bezug auf die 1. Abfrage (S. 30)
- Abb. 15: Korrekt aufgedeckte Kartenpaare des Interferenz-Memory-Spiels nach dem Lernvorgang (S. 31)
- Abb. 16: Prozentuale Ergebnisse der 1. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels (S. 32)
- Abb. 17: Prozentuale Ergebnisse der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels in Bezug auf den Lernprozess (S. 33)
- Abb. 18: Prozentuale Ergebnisse der 2. Abfrage des Interferenz-Memory-Spiels in Bezug auf die 1. Abfrage (S. 33)

#### **Tabellen**

- Tab. 1: Alter der 16 Versuchspersonen (S. 27)

- Tab. 2: Geschlechtsverteilung der 16 Versuchspersonen (S. 27)
- Tab. 3: Ergebnisse des Vigilanztest (S. 35)
- Tab. 4: Ergebnisse des RWT (S. 35)
- Tab. 5: Ergebnisse der Stanford Schläfrigkeitsskala (S. 36)
- Tab. 6: Ergebnisse des Befindlichkeitstests (S. 38)
- Tab. 7: Schlaf-Parameter der Schlaf-Probanden für den ersten Teil der Nacht  
(S. 39)
- Tab. 8: Schlaf-Parameter der Schlaf-Probanden für den zweiten Teil der Nacht  
(S. 39)
- Tab. 9: Schlaf-Parameter der Wach-Probanden für den zweiten Teil der Nacht  
(S. 40)



## Einverständniserklärung

Studienbezeichnung: Reaktivierung

Doktorand/-in Christina Petersen Tel.: \_\_\_\_\_

Probandenhonorar \_\_\_\_\_

Versuchsdatum (letzter Termin): \_\_\_\_\_

### Probandeninformation (Bitte in Druckbuchstaben ausfüllen)

Name,  
Vorname \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_

Straße \_\_\_\_\_

PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Kontonr.: \_\_\_\_\_ BLZ: \_\_\_\_\_

Hiermit versichere ich, dass ich freiwillig an dieser Studie teilnehme, wobei ich mir vorbehalte, meine Mitwirkung jederzeit ohne Angabe von Gründen zu beenden. In diesem Fall werde ich für meine Teilnahme anteilmäßig bezahlt.

Ich wurde über den Inhalt, die Vorgehensweise und die Risiken der Studie in verständlicher Form aufgeklärt. Darüber hinaus habe ich eine Kopie der Probandeninformationen erhalten. Meine Fragen wurden ausreichend und verständlich beantwortet. Ich hatte genügend Zeit, mich gegen eine Teilnahme an der Studie zu entscheiden und willige hiermit in diese ein.

Ich habe in den letzten zwei Monaten an keinem anderen Experiment teilgenommen, bei dem mir Medikamente verabreicht wurden und nehme auch zurzeit keine Medikamente ein. Sollte sich dies während meiner Teilnahme am Experiment ändern, werde ich den Versuchsleiter sofort davon unterrichten.

Hiermit nehme ich zur Kenntnis, dass im Rahmen dieser Studie, an der ich als Proband für das oben aufgeführte Honorar teilnehme, folgende meiner Daten elektronisch gespeichert und verarbeitet werden, wobei studienbezogene Messungsdaten in pseudoanonymisierter Form gespeichert werden:

1. Name, Vorname
2. Geburtsdatum
3. Adresse
4. Kontaktmöglichkeiten
5. Studienbezogene Messungsdaten

**Ja**, ich möchte für weitere Studien als Proband fungieren, und meine Daten in das Zentralregister der Neuroendokrinologie eintragen lassen.

**Nein**, ich möchte nicht an anderen Studien teilnehmen.

Lübeck,  
den \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

## Fragebogen zu Probandendaten

- Code:
- Datum:
- Bedingung:                   Schlaf                   Wach
- Eingewöhnungsnacht:                   Datum \_\_\_\_\_                   bei früherem  
Experiment
  
- Alter:
- Geschlecht:                   w                   m
- Brillenträger:                   ja                   nein
- Nichtraucher:                   ja                   nein
- Größe:
- Gewicht:
- Beruf/Studienfach:
  
- Gesundheit heute?
- Medikamente/Drogen heute?
- Nachtarbeit in letzten 6 Wochen?
- Wann zum letzten Mal Kaffee oder Cola getrunken?
- Heute besonderen Stress gehabt?
  
- Zu welcher Uhrzeit normalerweise abends zum Schlafen ins Bett?
- Wieviel Stunden Schlaf normalerweise pro Nacht?
- Üblicherweise auch Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?
  
- Zu welcher Uhrzeit letzte Nacht zum Schlafen ins Bett?
- Wann heute aufgestanden?
- Wieviel Stunden Schlaf letzte Nacht?
- Heute Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?
  
- Vorherige Schlafexperimente mitgemacht? Wenn ja, wann, welche, bei wem?

Besonderheiten:

## Randomisierungsliste

Pb-Code	Reihenfolge	Session	Session	Version Memory	RWT Lernen	RWT Abfrage 1	RWT Abfrage 2
	Bedingung		Memory Abfrage				
1	S	1	11 und 12	A	P	K	Berufe
1	W	2	21 und 22	B	M	B	Hobbys
2	W	1	11 und 12	A	P	Berufe	K
2	S	2	21 und 22	B	M	Hobbys	B
3	S	1	11 und 12	B	Berufe	P	K
3	W	2	21 und 22	A	Hobbys	M	B
4	W	1	11 und 12	B	P	K	Berufe
4	S	2	21 und 22	A	M	B	Hobbys
5	S	1	11 und 12	A	K	Berufe	P
5	W	2	21 und 22	B	B	Hobbys	M
6	W	1	11 und 12	A	Hobbys	K	P
6	S	2	21 und 22	B	Berufe	B	M
7	S	1	11 und 12	B	K	P	Berufe
7	W	2	21 und 22	A	B	M	Hobbys
8	W	1	11 und 12	B	K	Berufe	P
8	S	2	21 und 22	A	B	Hobbys	M
9	S	1	11 und 12	A	Hobbys	B	M
9	W	2	21 und 22	B	Berufe	K	P
10	W	1	11 und 12	A	B	M	Hobbys
10	S	2	21 und 22	B	K	P	Berufe
11	S	1	11 und 12	B	B	Hobbys	M
11	W	2	21 und 22	A	K	Berufe	P
12	W	1	11 und 12	B	Hobbys	B	M
12	S	2	21 und 22	A	Berufe	K	P
13	S	1	11 und 12	A	M	B	Hobbys
13	W	2	21 und 22	B	P	K	Berufe
14	W	1	11 und 12	A	M	Hobbys	B
14	S	2	21 und 22	B	P	Berufe	K
15	S	1	11 und 12	B	Hobbys	M	B
15	W	2	21 und 22	A	Berufe	P	K
16	W	1	11 und 12	B	M	B	Hobbys
16	S	2	21 und 22	A	P	K	Berufe

## Regensburger Wortflüssigkeits-Test

**RWT**

Untertest:

P-Wörter

M-Wörter

---

Probanden-Code:

Datum:

Uhrzeit:

---

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

## Stanford Schläfrigkeitsskala

Probanden - Code:

Uhrzeit:

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

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

## Fragebogen zur Befindlichkeit

Proband:

Alter:                    m             w

Bedingung:

Uhrzeit:

### Fragen zur aktuellen Befindlichkeit

Ich fühle mich jetzt gerade ...

- |                | gar nicht                |                          |                          |                          | sehr                     |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| • schläfrig    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • aktiviert    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • angespannt   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • müde         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • gelangweilt  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • motiviert    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| • konzentriert | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 8. Danksagungen

Ich danke Herrn Prof. Dr. Jan Born für die Überlassung des Dissertationsthemas und für die Bereitstellung von finanziellen Mitteln, Arbeitsplatz und Materialien.

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Frau Dipl.-Psych. Susanne Diekelmann für ihre Hilfestellung bei der Planung der Dissertation, der Einarbeitung in die Abläufe der Versuchsnächte und der Datenerhebung, der EEG-Auswertung und der statistischen Auswertung. Sie hat es verstanden mir während der gesamten Zeit der Organisation, der Versuchsdurchführung und der Verfassung der Dissertationsarbeit geduldig mit Rat und Tat zur Seite zu stehen.

Frau Anja Otterbein danke ich für die stetige Unterstützung bei der Beschaffung neuer Materialien und der Hilfe bei der Organisation.

Dem Systemadministrator Fabian Griebe danke ich für die Hilfe bei EDV und Technik.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Mitgliedern des Instituts für Neuroendokrinologie für die unkomplizierte und nette Zusammenarbeit. Sie stellten jederzeit präzise und hilfsbereite Ansprechpartner dar.

Meinen Eltern und Geschwistern danke ich ganz besonders für die stetige Motivation und die Unterstützung.

## 9. Lebenslauf



### Persönliche Daten

Name	Christina Barbara Petersen
Geburtstag	23.11.1985
Geburtsort	Lübeck
Wohnort	Reiherstieg 33 23564 Lübeck
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

### Schulbildung

1992 – 1996	Gustav-Peters-Schule Eutin
1996 – 2004	Johann-Heinrich-Voß-Gymnasium Eutin
5. Juni 2004	Abitur

### Studium

2004	Beginn des Medizinstudiums an der Universität zu Lübeck
12.02.07 – 11.03.07	Famulatur in der Anästhesie in den Sana-Kliniken Osth.
12.03.07 – 01.04.07	Famulatur in der Inneren Medizin in den Sana-Klinken Osth.
06.08.07 – 19.08.07	Famulatur in der Gynäkologie im Uni-Klinikum Aachen
27.08.07 – 09.09.07	Famulatur in der Chirurgie in den Sana-Kliniken Osth.
13.09.07 – 26.09.07	Famulatur in der Unfallchirurgie im Kl. re. d. Isar, München
08.10.07 – 21.10.07	Famulatur in der Allgemeinärztl. Praxis Petersen/Busse Eutin
25.02.08 – 09.03.08	Famulatur in der Allgemeinärztl. Praxis Petersen/Busse Eutin



## **Examina**

August 2006	Physikum
Oktober 2010	voraussichtlich Staatsexamen

## **Studienbegleitende Tätigkeiten**

2004 – 2006	Tutorin für jüngere Studenten in der Anatomie
2006 – 2007	Extrawache am UKSH, Campus Lübeck
seit 2006	Mitglied im Uni-Orchester (Querflöte)

## **Promotion**

Dez. 2007 – Okt. 2008	Durchführung der Versuchsnächte
Mai 2008 – Januar 2009	Verfassen der Dissertationsarbeit