

AUS DEM INSTITUT FÜR NEUROENDOKRINOLOGIE  
DER UNIVERSITÄT ZU LÜBECK  
DIREKTOR: PROF. DR. J. BORN



**Der Einfluss von Schlaf auf das aktive Vergessen von  
Gedächtnisinhalten**

INAUGURALDISSERTATION  
ZUR  
ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE  
DER UNIVERSITÄT ZU LÜBECK  
- AUS DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT -

---

vorgelegt von:	Kathrin Schröder
geboren am:	12.05.1985
Geburtsort:	Buchholz in der Nordheide

---

Lübeck 2010

1. Berichterstatter:	Prof. Dr. rer. soc. Jan Born
2. Berichterstatterin:	Priv.-Doz. Dr. med. Susanne Schneider PhD
Tag der mündlichen Prüfung:	24.01.2011
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den	24.01.2011

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
1 Einleitung .....	1
2 Theorie .....	2
2.1 Schlaf .....	2
2.1.1 Definition und Funktion .....	2
2.1.2 Elektro-Enzephalographie .....	3
2.1.3 Schlafstadien und Schlafprofil.....	3
2.2 Gedächtnis .....	7
2.2.1 Gedächtnissysteme .....	7
2.2.2 Gedächtnisbildung .....	9
2.2.3 Konsolidierung .....	9
2.2.4 Langzeitpotenzierung - ein molekulares Konsolidierungsmodell.....	11
2.3 Vergessen und Verdrängen .....	12
2.3.1 Vergessen .....	12
2.3.2 Verdrängen .....	14
2.4 Schlaf und Gedächtnis .....	17
2.4.1 Schlaf und Reaktivierung .....	19
2.4.2 Hippocampaler-Neocortikaler-Dialog.....	20
2.4.3 Hormone .....	21
2.5 Schlaf und Verdrängung .....	22
3 Fragestellung und Hypothesen .....	24
4 Material und Methoden .....	25
4.1 Probandenkollektiv .....	25
4.2 Ablauf und Versuchsdesign .....	25
4.3 Think/No-Think-Aufgabe .....	27
4.3.1 Wortpaar-Assoziationstest.....	27
4.3.2 Think/No-Think Phase .....	27
4.4 Polysomnographie .....	29
4.5 Fragebögen zur Schläfrigkeit, Abruffunktion und Schlafqualität.....	30
4.6 Statistische Auswertung.....	31

5	Ergebnisse .....	32
5.1	Schlaf – Polysomnographische Aufzeichnung .....	32
5.2	Think/No-Think Aufgabe .....	33
5.2.1	Ergebnisse des Lernens .....	33
5.2.2	Ergebnisse des Abrufs .....	33
5.2.2.1	Baseline-Vergleich der Schlaf- und Wachgruppe.....	34
5.2.2.2	Effekt der Unterdrückung (Response vs. Suppression Pairs).....	34
5.2.2.3	Wiederholungseffekt.....	36
5.2.2.4	Baseline-Vergleich.....	37
5.3	Stanford Schläfrigkeitsskala / Regensburger Wortflüssigkeitstests .....	39
5.3.1	Stanford Schläfrigkeitsskala.....	39
5.3.2	Regensburger Wortflüssigkeitstest.....	40
6	Diskussion .....	41
7	Zusammenfassung.....	48
8	Quellen .....	49
9	Anhang .....	54
9.1	Wortpaarliste.....	54
9.2	Stanford Schläfrigkeitsskala .....	55
9.3	Regensburger Wortflüssigkeitstest .....	56
9.4	Fragebogen: Übungsphase .....	57
9.5	Fragebogen: Strategie .....	59
9.6	Fragebogen zu Tagesaktivitäten .....	60
9.7	Schlaffragebogen .....	61
10	Danksagung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11	Lebenslauf .....	65

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Idealisiertes Hypnogramm .....	6
Abbildung 2: Reales Hypnogramm .....	6
Abbildung 3: Unterteilung des Langzeitgedächtnisses .....	8
Abbildung 4: Der hippocampale-neocortikale-Dialog .....	10
Abbildung 5: Die Ebbinghaussehe Vergessenskurve.....	13
Abbildung 6: Der Einfluss der zwei Nachthälften auf das deklarative und das prozedurale Gedächtnis .....	18
Abbildung 7: Recall der Response und Suppression Pairs.....	23
Abbildung 8: Elektrodenpositionen für die standardisierte Polysomnographie.....	29
Abbildung 9: Abruf der Schlaf- und Wachgruppe .....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der verschiedenen Schlafstadien. ....	5
Tabelle 2: Schematischer Versuchsablauf.....	26
Tabelle 3: Anteile der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer. Angaben in Minuten und Prozent der Gesamtschlafdauer $\pm$ SEM .....	32
Tabelle 4: Ergebnisse vom Wortpaarlernen. Mittelwerte $\pm$ SEM .....	33
Tabelle 5: Ergebnisse des Abrufs. Angaben in Prozent $\pm$ SEM.....	33
Tabelle 6: Baseline-Vergleich der Schlaf- und Wachgruppe. Angaben in Prozent $\pm$ SEM	34
Tabelle 7: Vergleich Response und Suppression Pairs. Angaben in Prozent $\pm$ SEM .....	34
Tabelle 8: Vergleich Schlaf- und Wachgruppe. Angaben in Prozent $\pm$ SEM .....	35
Tabelle 9: Baseline-Vergleich. Angaben in Prozent $\pm$ SEM .....	38
Tabelle 10: Stanford Schläfrigkeitsskala. Vergleich zwischen Schlaf- und Wachgruppe. Angaben $\pm$ SEM .....	39
Tabelle 11: Stanford Schläfrigkeitsskala. Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten. Angaben $\pm$ SEM .....	39
Tabelle 12: Regensburger Wortflüssigkeitstest. Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten. Angaben $\pm$ SEM.....	40
Tabelle 13: Regensburger Wortflüssigkeitstest. Vergleich zwischen Schlaf- und Wachgruppe. Angaben $\pm$ SEM.....	40

## Abkürzungsverzeichnis

EEG:	Elektroenzephalogramm
EKG:	Elektrokardiogramm
EMG:	Elektromyogramm
EOG:	Elektrookulogramm
fMRT:	funktionelle Magnetresonanztomographie
GH:	Wachstumshormon (engl.: growth hormon)
LTD:	Langzeitdepression (eng.: long-term depression)
LTP:	Langzeitpotenzierung (eng.: long-term potentiation)
MTL:	Medialer Temporallappen
MW:	Mittelwert
NREM-Schlaf:	Nicht-REM-Schlaf (engl.: non-REM-sleep)
p:	Signifikanzniveau (signifikant mit $p \leq 0,05$ )
PET:	Positronen-Emissions-Tomograph
PFC:	Präfrontaler Cortex
REM:	Rapid Eye Movement (schnelle Augenbewegungen)
REMD:	REM-Schlaf-Deprivation
RWT:	Regensburger Wortflüssigkeitstest
S1-4:	Schlafstadium 1-4
SEM:	Standardfehler des Mittelwerts (standard error of the mean)
SWS:	Tiefschlaf (slow-wave sleep)
W:	Wachzustand

## **1 Einleitung**

Bereits seit mehr als einem Jahrhundert (Foster, 1901) beschäftigt sich die Forschung intensiv mit den Geschehnissen während des Schlafens, und noch immer herrscht über viele Prozesse nicht genügend Klarheit. Im Mittelpunkt der derzeitigen Diskussionen steht insbesondere auch die Funktion von Schlaf bei der Gedächtniskonsolidierung.

Diese Arbeit befasst sich mit einem Aspekt, der bisher nur in wenigen Studien thematisiert worden ist: Dem Prozess des aktiven Vergessens, bzw. Verdrängens von zuvor gelernten Gedächtnisinhalten und seinem Zusammenhang mit den Mechanismen, die während des Schlafens ablaufen. Das in dieser Studie verwendete Versuchsdesign ermöglicht, das aktive Vergessen im Sinne einer kognitiven Kontrollfunktion zu untersuchen. Ob wir Menschen willentlich Dinge, die wir vergessen möchten, auch wirklich unterdrücken und somit verdrängen können und welche Rolle dabei der Schlaf einnimmt, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

Im folgenden Theorieteil wird zunächst auf den aktuellen Stand der Wissenschaft in Bezug auf Schlaf, Gedächtnisbildung und deren Zusammenhänge eingegangen. Weiterführend wird der Unterschied zwischen Vergessen und Verdrängen und die mögliche Beeinflussung der Verdrängung durch den Schlaf dargestellt.

Schließlich wird das Versuchsdesign erklärt, und die daraus resultierenden Ergebnisse werden erläutert und diskutiert.

## 2 Theorie

### 2.1 Schlaf

#### 2.1.1 Definition und Funktion

Schlaf wird unter anderem definiert als „ein nachts regelmäßig wiederkehrender physiologischer Erholungszustand mit Veränderung von Bewusstseinslage und Körperfunktionen“ (Pschyrembel, 2001) oder als „ein schnell reversibler Zustand reduzierter Antwortbereitschaft auf Umgebungsreize und allgemein verminderter Interaktionen mit der Umwelt“ (Pape, 2005).

Diese Definitionen verdeutlichen bereits, wie schwer es ist, den Zustand Schlaf mit nur wenigen Wörtern zu beschreiben. Denn heutzutage wissen wir, dass sich hinter dem passiven Erholungszustand ohne Bewusstsein ein weitaus komplexeres Geschehen verbirgt, als noch bis vor ein paar Jahrzehnten angenommen. Nach Borbely (1998) regulieren zwei voneinander unabhängige Prozesse die Dauer, die Tiefe und den Zeitpunkt des Schlafens. Der zirkadiane Rhythmus bestimmt den Zeitpunkt des Einschlafens und verschiedene hormonelle Prozesse regulieren die Schlaftiefe und -dauer. Nicht nur wir Menschen verbringen mehr als ein Drittel unseres Lebens schlafend, sondern auch nahezu alle höheren Organismen verschlafen einen mehr oder weniger großen Anteil ihres Lebens und das, obwohl dieser Zustand besonders für viele Tiere auch Nachteile mit sich bringt, da sie möglichen Gefahren wehrlos ausgesetzt sind.

Nicht nur aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass dieser Zustand weitaus bedeutendere Aufgaben erfüllt als die rein regenerativ-restaurative oder energiesparende Funktion. Viele Studien haben bereits den energiesparenden Effekt nachgewiesen. Neben einer geringeren Muskelaktivität sinken auch die Körpertemperatur und die Stoffwechselrate ab (Gillberg und Akerstedt, 1982; Ryan et al., 1989).

Bei alleiniger Betrachtung der Aktivität des Gehirns wird allerdings deutlich, dass sie keineswegs immer geringer als im Wachzustand ist. Neben Phasen mit einem geringeren Energieumsatz gibt es auch solche, in denen die Hirnaktivität der Aktivität des Tages sehr ähnelt (REM-Schlaf<sup>1</sup>). Insgesamt beträgt sie 80% der Tagesaktivität (Hobson, 2002). Zu den regenerativen Prozessen zählen unter anderem verschiedene Reparaturvorgänge und das Auffüllen von Energiereserven. Dieses ist für verschiedene Organe (Oswald, 1980) und insbesondere auch für das Gehirn nachgewiesen worden (Horne, 1988).

---

<sup>1</sup> Auf die Charakteristika der verschiedenen Schlafstadien wird im Teil 2.1.3 genauer eingegangen.

### **2.1.2 Elektro-Enzephalographie**

Ein großer Durchbruch bezüglich der Messung der elektrischen Hirnaktivität gelang im Jahre 1937 mit der Entdeckung der nichtinvasiven elektrophysiologischen Elektroenzephalographie (kurz EEG). Bei dieser Methode wird ein elektrisch leitendes Gel auf spezielle Elektroden aufgetragen, die dann an definierten Stellen auf dem Kopf und im Gesicht angebracht werden. Bei der sogenannten bipolaren Ableitung werden mit Hilfe eines EEG-Verstärkersystems Potenzialunterschiede zwischen jeweils zwei EEG-Elektroden gemessen. Bei der unipolaren Ableitung werden die Spannungsunterschiede gegen eine Referenzelektrode gemessen. Werden kortikale Neuronenpopulationen synchron aktiviert und geschieht dieses in periodischer Reihenfolge, kommt es zu wellenförmigen EEG-Signalen, den EEG-Wellen oder -Rhythmen. Die Höhe der Amplitude korreliert dabei mit der Anzahl synchronisierter Populationen, den sogenannten Summenpotentialen. So konnten erstmals die Unterschiede zwischen dem Zustand des Wachseins und des Schlafens aufgezeichnet werden, wodurch der jahrtausendelange Irrglaube widerlegt worden ist, dass der Schlaf ein Zustand minimaler körperlicher und geistiger Aktivität sei. Anhand der Hirnwellen kann neben dem Übergang zum Schlaf auch genau dokumentiert werden, welche unterschiedlichen Aktivitätszustände während einer Nacht in regelmäßiger, immer wiederkehrender Reihenfolge durchlaufen werden. Diese Prozesse sind unter anderem für die Gedächtnisbildung von Bedeutung.

### **2.1.3 Schlafstadien und Schlafprofil**

Anhand der EEG-Wellen, des Muskeltonus und der Augenbewegungen können die verschiedenen Schlafstadien bestimmt werden (siehe Tabelle 1). EEG-Wellen werden durch ihre Frequenz und ihre Amplitude klassifiziert. Beta-Wellen sind beispielsweise ein Zeichen mentaler Aktivität mit einer hohen Frequenz von 14-30Hz. Inaktive Wachzustände zeigen hingegen überwiegend langsamere Alpha-Wellen (8-13Hz). Mit zunehmender Schläfrigkeit verlangsamt sich die Frequenz und sobald der Alpha-Wellen-Anteil in Bezug auf ein 30-Sekunden-Intervall unter 50% liegt und EEG-Wellen mit einer Frequenz von 2-7Hz auftreten, sprechen wir bereits vom Schlafstadium I. Weitere Kriterien sind die typischen langsamen, rollenden Augenbewegungen im Elektrookulogramm (kurz: EOG) und ein geringerer Muskeltonus als im Wachzustand. Insgesamt dauert dieses Stadium nur wenige Minuten.

Für das Stadium II sind Spindeln und K-Komplexe charakteristisch. Eine Spindel zeichnet sich durch eine an- und abschwellende Phase synchronisierter Aktivität mit einer Frequenz von 12-14Hz aus, wohingegen ein K-Komplex durch eine steile negative Auslenkung gekennzeichnet ist, der eine stark positive Auslenkung (Amplitude  $>75 \mu\text{V}$ ) direkt folgt.

Je tiefer wir schlafen, desto mehr treten stark synchronisierte Delta-Wellen mit einer Frequenz von nur 0,5-2Hz und einer Amplitude von größer als  $75\mu\text{V}$  auf. Arterieller Blutdruck, Atem- und Herzfrequenz sind zudem erniedrigt, als Zeichen der zunehmenden Aktivität des parasympathischen Nervensystems. Bei einem Delta-Wellen-Anteil von über 20% in einem 30-Sekunden-Intervall sprechen wir von dem Schlafstadium III und bei einem Anteil von über 50% von dem Schlafstadium IV. Diese beiden Tiefschlafphasen werden auch als *slow wave sleep* (kurz: SWS) bezeichnet. Diesem synchronisierten Schlaf steht eine weitere Entdeckung durch Aserinsky und Kleitman (1953) gegenüber, welche das Interesse an der Schlafforschung noch weiter gesteigert hat. Sie beschrieben ein Schlafstadium, welches durch schnelle Augenbewegungen charakterisiert ist und demzufolge als REM-Schlaf (rapid eye movement) bezeichnet wird. Ein weiteres wichtiges Kennzeichen für dieses Schlafstadium ist die maximale Muskeltonusreduktion mit einer niedrigen Amplitude in der Elektromyographie (kurz: EMG). Die Augen- und Atemmuskulatur sind von dieser Reduktion ausgenommen. Das EEG zeigt ein gemischtes Muster mit einer niedrigen Amplitude. Neben Alpha-Wellen kommen vorwiegend Wellen mit einer Frequenz von 2-7Hz vor. Insgesamt ist dieses Muster dem des Wachzustandes sehr ähnlich. Die Sauerstoffversorgung des Gehirns kann dabei sogar auf Werte über denen des Wachzustandes steigen. Insgesamt bleibt die Weckschwelle in dieser Phase des Schlafes hoch. Die Schlafphasen, in denen keine REM-Augenbewegungen auftreten, werden demzufolge als non-REM-Schlaf bezeichnet.

**Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der verschiedenen Schlafstadien.  
Die Angaben beziehen sich immer auf ein 30-Sekunden-Intervall.**

Stadium	EEG			EMG	EOG
	Frequenz	Amplitude	Besonderheiten		
W	gemischt, vorwiegend $\alpha$ -Wellen	niedrig		relativ hoch	Augenbewegungen
S I	gemischt, vorwiegend 2-7Hz, $\alpha$ -Wellen < 50%	50-75 $\mu$ V		< W	langsame, rollende Augenbewegungen
S II	Gemischt	50-75 $\mu$ V	Schlafspindeln, K-Komplexe	< W	
S III	$\delta$ -Wellen > 20%	> 75 $\mu$ V		< W	
S IV	$\delta$ -Wellen > 50%	> 75 $\mu$ V		< W	
REM	Gemischt	niedrig	keine Schlaf- spindeln, keine K-Komplexe	sehr niedrig	schnelle Augenbewegungen (REMs)

**W = Wachzustand**  
**SI – S IV = Schlafstadien I-IV**

Diese Aktivitätszustände werden mehrfach pro Nacht in einer rhythmischen Reihenfolge durchlaufen (Abbildung 1). Beginnend mit Stadium I folgen die Stadien zunehmender Schlaftiefe bis zum Stadium IV, um dann in inverser Abfolge wieder beim Stadium I anzukommen, worauf sich in der Regel die erste REM-Schlafphase anschließt. Diesen etwa 100-minütigen Zyklus durchlaufen wir, je nach Schlafdauer, 4- bis 6-mal pro Nacht. In Wirklichkeit sehen die Schlafprofile einer Nacht aber nicht so regelmäßig und rhythmisch aus, wie in Abbildung 1 dargestellt. Vielmehr ähneln sie der Aufzeichnung in Abbildung 2. Allen gesunden Schlafprofilen ist dabei gleich, dass die Tiefschlafphasen vermehrt in der ersten Hälfte der Nacht auftreten und in der zweiten Hälfte vor allem der REM-Schlaf im Wechsel mit dem Schlafstadium II dominiert. Beispielsweise kann die Dauer einer REM-Schlafphase von anfangs etwa zehn Minuten auf bis zu 60 Minuten in der zweiten Nachthälfte zunehmen. Insgesamt beträgt der REM-Schlaf-Anteil einer ganzen Nacht etwa 20-25%.

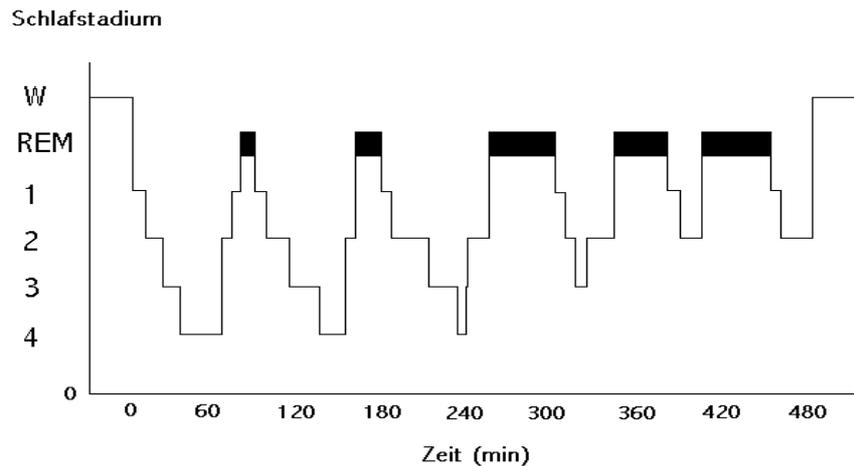


Abbildung 1: Idealisiertes Hypnogramm

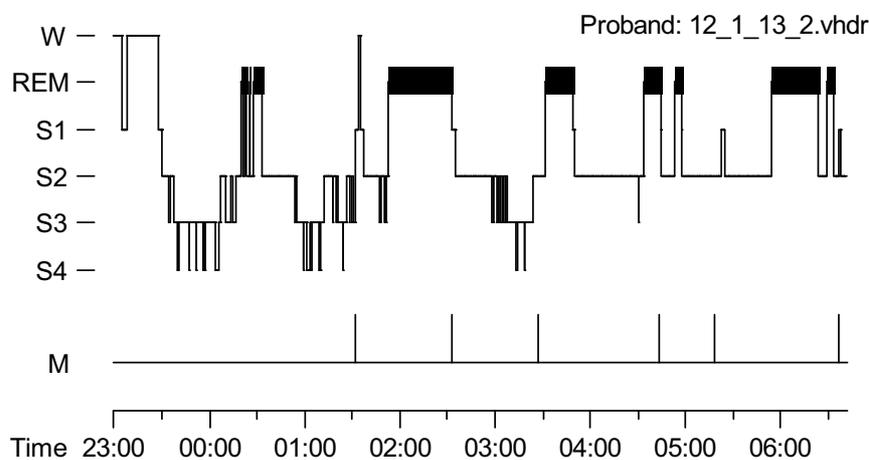


Abbildung 2: Reales Hypnogramm

Das Schlafprofil jedes Individuums verändert sich jedoch im Laufe seines Lebens. Die Schlafdauer nimmt dabei kontinuierlich ab. Besonders auffällig ist dabei der fast exponentielle Abfall des Tiefschlafstadiums IV, der dazu führt, dass bereits im 60. Lebensjahr dieses Stadium häufig nicht mehr nachweisbar ist. Der REM-Schlaf-Anteil macht zum Zeitpunkt der Geburt etwa 50% der Gesamtschlafdauer aus und beträgt bereits im zehnten Lebensjahr nur noch etwa 25%. Dieser Anteil bleibt über einen langen Zeitraum relativ konstant und nimmt erst im höheren Lebensalter weiter ab. Auch diese Tatsache lässt auf unterschiedliche Bedeutungen der verschiedenen Schlafstadien während der Entwicklung schließen.

## 2.2 Gedächtnis

### 2.2.1 Gedächtnissysteme

Das menschliche Gedächtnis hebt sich durch eine Vielzahl von Funktionen von denen anderer Organismen ab. Dieses ist besonders auf die Ausbildung des Neocortex zurückzuführen. Die Speicherung von Informationen und deren Verarbeitung stellen sehr komplexe Vorgänge dar, bei denen eine Vielzahl von Teilsystemen und Prozessen eine wichtige Rolle spielen.

Die verschiedenen Gedächtnissysteme können anhand ihrer zeitlichen und inhaltlichen Aspekte unterteilt werden. Die Betrachtung nach zeitlichen Gesichtspunkten umfasst die folgenden drei Gedächtnissysteme: Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und das Langzeitgedächtnis. Diese Unterteilung beruht auf der zeitlich begrenzten Gedächtnisleistung der jeweiligen Systeme. Das Ultrakurzzeitgedächtnis, welches auch als sensorischer Speicher bezeichnet wird, kann Informationen nur für einen Zeitraum von wenigen Sekunden speichern, wohingegen das Kurzzeitgedächtnis bereits einen Zeitraum von Sekunden bis hin zu mehreren Stunden abdecken kann. Alle Zeiträume, die darüber hinaus gehen, werden dem Langzeitgedächtnis mit seiner deutlich größeren Kapazität zugeordnet. Für die Betrachtungen dieser Arbeit ist nur das Langzeitgedächtnis relevant, so dass folglich mit dem Begriff „Gedächtnis“ das Langzeitgedächtnis gemeint ist.

Dieser eher klassischen Unterteilung kann die bereits etablierte Unterteilung nach inhaltlichen Aspekten gegenüber gestellt werden. Das menschliche Langzeitgedächtnis wird nach Squire (1987) in zwei verschiedene Gedächtnissysteme gegliedert (Abbildung 3). Er differenzierte zum ersten Mal zwischen dem deklarativen und dem non-deklarativen Gedächtnis. Der Unterschied zwischen diesen beiden Gedächtnissystemen beruht auf der Beteiligung einer Region im medialen Temporallappen, dem Hippocampus mit seinen anliegenden Gebieten<sup>2</sup>. In sowohl tierexperimentellen Studien als auch an Patienten mit einer Schädigung im Hippocampus, konnte dieser Unterschied nachgewiesen werden (Squire und Zola-Morgan, 1991; Squire, 1992). Verschiedene Gedächtnisaufgaben konnten bei einer Schädigung des Hippocampus schlechter, oder gar nicht mehr gelöst werden. Dieses Gedächtnissystem wird als deklarativ bezeichnet. Typische Aufgaben, um dieses System zu überprüfen, befassen sich mit dem Wiedererkennen und Erinnern von gelernten Materialien, wie es beispielsweise beim Lernen von Wortpaaren der Fall ist.

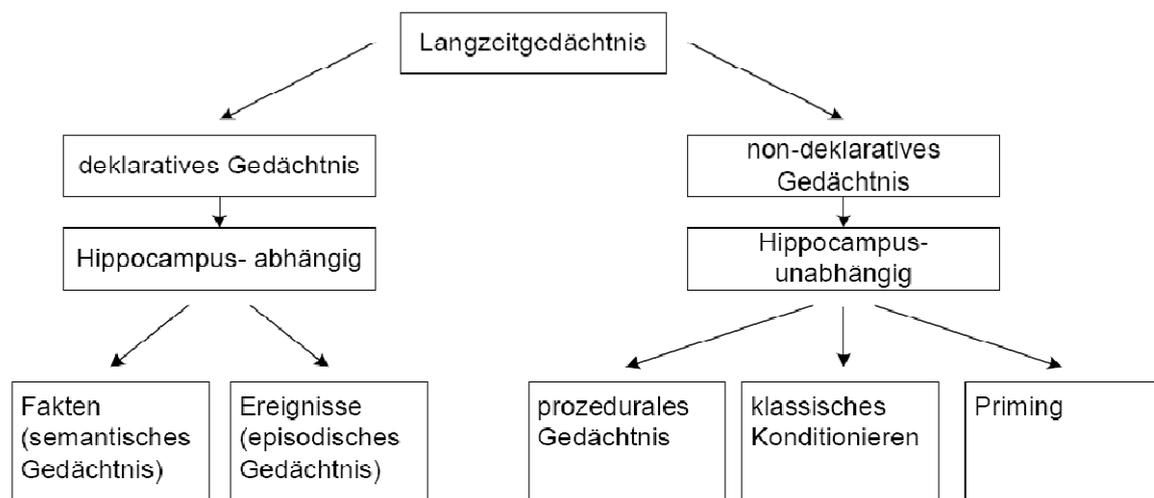
---

<sup>2</sup> Zu diesen Strukturen gehören der entorhinale, perirhinale und parahippocampale Cortex. Vereinfacht wird hier nur vom Hippocampus gesprochen, da funktionell zwischen diesen Regionen nicht unterschieden wird.

Das deklarative Gedächtnis ist das sogenannte Wissensgedächtnis, welches Inhalte umfasst, auf die eine Person bewusst zurückgreifen kann. Es wird weiter in das semantische Gedächtnis, also das Wissen von Begriffen, Fakten und Zeichen, und das episodische Gedächtnis unterteilt. Gedächtnisinhalte mit episodischem Charakter haben einen autobiographischen Hintergrund in Form persönlicher Erfahrungen und Ereignisse.

Aufgaben, die auch ohne einen intakten Hippocampus ausgeführt werden können, werden als non-deklarativ bezeichnet. Eine prototypische Aufgabe zu nennen, ist für dieses Gedächtnissystem weitaus schwieriger, da unter dem Begriff non-deklarativ eine Vielzahl verschiedener Systeme zusammengefasst werden. Neben dem prozeduralem Gedächtnis gehören auch das Priming und die klassische Konditionierung nach Pavlov (1927) hierzu. Das prozedurale Gedächtnis wird beispielsweise für das Erlernen von motorischen und sensorischen Fertigkeiten und Gewohnheiten benötigt, und die sogenannten Primingprozesse beschreiben die erhöhte Wiedererkennungsleistung zuvor unbewusst wahrgenommener Informationen (Tulving und Schacter, 1990). Mit dem Prinzip der klassischen Konditionierung beschrieb Pavlov (1927) das Erlernen typischer Reiz-Reaktionsmuster.

Alle diese Prozesse laufen unbewusst und ohne willentliche Kontrolle ab, so dass sie nach Markowitsch (1996) auch unter dem Begriff des impliziten Gedächtnisses zusammengefasst werden können. Diesem steht das explizite/deklarative Gedächtnis gegenüber.



**Abbildung 3: Unterteilung des Langzeitgedächtnisses (vereinfacht nach Squire und Zola-Morgan, 1996)**

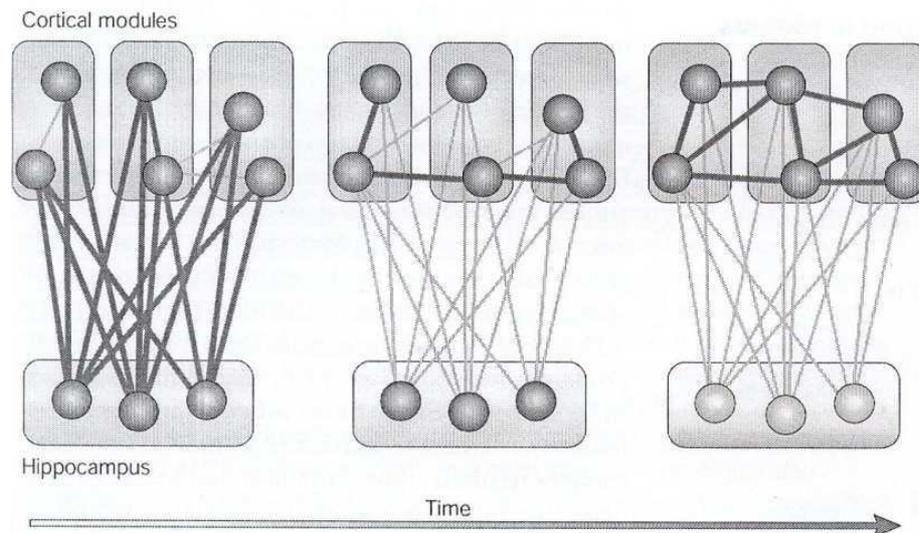
### **2.2.2 Gedächtnisbildung**

Enkodierung, Konsolidierung und Abruf stellen die drei Teilprozesse der Informationsverarbeitung bei der Gedächtnisbildung dar (Müller und Pilzecker, 1900). Mit dem Begriff der Enkodierung wird die Aufnahme von Informationen bezeichnet, welche in eine neuronale Repräsentation umgewandelt wird. Solche neuronalen Spuren sind anfangs sehr labil und müssen demzufolge gefestigt werden. Die Konsolidierung dient genau dieser Festigung neu erworbener Gedächtnisinhalte und führt dadurch zu einer geringeren Anfälligkeit gegenüber störenden Interferenzen (McGaugh, 2000). Nach Dudai (2004) führt sie ebenfalls zu einer verstärkten Verknüpfung mit Inhalten des Langzeitgedächtnisses. Der Schwerpunkt dieser Arbeit befasst sich mit den Prozessen während der Konsolidierungsphase. Diese ist kein einfacher, passiver Vorgang, sondern ein durch eine Vielzahl neuronaler und humoraler Prozesse beeinflusstes Geschehen. Auf der Ebene der Synapsen wird unter anderem vermutet, dass es während der Konsolidierungsphase zu Veränderungen bereits bestehender (Shimizu et al., 2000), oder zur Ausbildung neuer Synapsen kommt (Shors et al., 2001).

### **2.2.3 Konsolidierung**

Der weitgehend anerkannte neurophysiologische Mechanismus, der der Konsolidierung zu Grunde liegt, ist der hippocampale–neocorticale Dialog (Eichenbaum, 2000; Otten und Rugg, 2002). Dieses Modell beschreibt das Zusammenspiel zwischen dem Hippocampus und dem Neocortex während der Informationsspeicherung (siehe Abbildung 4). Der Hippocampus, die wesentliche Struktur des deklarativen Gedächtnisses, dient dabei als eine Art Zwischenspeicher, der durch eine schnelle Aufnahme, aber auch durch eine begrenzte Kapazität charakterisiert ist. Der Neocortex ist der eigentliche Langzeitspeicher, den eine nahezu unbegrenzte Kapazität auszeichnet. Die Aufnahme von Gedächtnisinhalten in den Neocortex ist gegenüber dem Hippocampus wesentlich komplexer, da er neue Informationen nur sehr langsam in seine bereits bestehenden Netzwerke integrieren kann. Durch ein Zusammenspiel zwischen Hippocampus und Neocortex wird die sogenannte „Katastrophale Interferenz“ verhindert. Diese würde auftreten, wenn alle Informationen direkt und nur vom Hippocampus gespeichert oder ohne eine derartige Filterung direkt an den Neocortex weitergeleitet werden würden. Nicht kompatible Gedächtnisinhalte könnten bereits bestehende Informationen zerstören

(McClelland et al., 1995). Der Hippocampus gibt gespeicherte Informationen in wiederholten Episoden an den Neocortex weiter. Mit Voranschreiten des Konsolidierungsprozesses wird der Hippocampus für den Abruf von Informationen immer weniger benötigt. Der Abruf wird somit vom Hippocampus unabhängig. Durch ein solches Zusammenspiel wird eine sinnvolle Integration in die bereits bestehenden Netzwerke des Neocortex gefördert.



**Abbildung 4: Der hippocampale-neocortikale-Dialog**  
**Der Hippocampus dient als Zwischenspeicher und transferiert die Informationen in den Neocortex. Die Informationen und deren Abruf werden mit der Zeit vom Hippocampus unabhängig (nach Frankland und Bontempi, 2005).**

Dieses theoretische Modell konnte auch anhand neuerer Untersuchungen mit Hilfe des Magnetresonanztomographens (kurz: MRT) bestätigt werden. Gesunde Probanden aktivieren beim Abruf sehr frischer Erinnerungen nur den Hippocampus, wohingegen bei Erinnerungen, die bereits mehrere Jahrzehnte zurückliegen, das mediale Temporallappensystem immer weniger in Anspruch genommen wird. Je länger die jeweilige Erinnerung also zurückliegt, desto weniger wird der Hippocampus aktiviert (Haist et al., 2001). Einen weiteren Beweis für dieses theoretische Modell liefern Studien mit Untersuchungen an Probanden mit Hippocampusläsionen. Diese zeigen sowohl eine retrograde als auch eine anterograde Amnesie. Die retrograde Amnesie besteht allerdings nur für einen begrenzten Zeitraum. Ereignisse die weiter zurückliegen und somit neocortikal gespeichert sind, können demzufolge bei Läsionen des Hippocampus trotzdem noch erinnert werden. Auf Grund der fehlenden Kommunikation zwischen dem Hippocampus und dem Neocortex, besteht für neu erworbene Informationen eine

anterograde Amnesie, da die dauerhafte Integration in das neocortikale Netzwerk nicht mehr möglich ist (Squire und Zola-Morgan, 1991). Dass Läsionen im Neocortex zu Defiziten weit zurückliegender Ereignisse führen, ist zudem in Studien bewiesen worden, die Probanden mit Läsionen genau dieser Hirnareale untersucht haben (Wiltgen et al., 2004).

#### **2.2.4 Langzeitpotenzierung - ein molekulares Konsolidierungsmodell**

Ein viel untersuchtes und lang diskutiertes Modell zur neuronalen Grundlage der Gedächtniskonsolidierung ist die Langzeitpotenzierung, kurz LTP (englisch: long-term Potentiation). Sie erklärt auf molekularer Ebene die neuronale Plastizität synaptischer Prozesse, welche eine weitgehend anerkannte, zentrale Rolle bei der Gedächtnisbildung spielt (Bliss und Lomo, 1973; Bliss und Collingridge, 1993). Die Verbindung zweier Neurone durch eine Synapse kann durch wiederholte Aktivierung verstärkt werden, durch Inaktivität kann sie allerdings in der Stärke ihres exzitatorischen postsynaptischen Potentials (EPSP) auch wieder abgeschwächt werden (Hebb, 1949). Kommt es nun zu einer präsynaptischen Aktivierung, führt diese zur Ausschüttung des Neurotransmitters Glutamat, der an die postsynaptischen AMPA- und NMDA-Rezeptoren binden kann. Der Transmitter bindet zunächst an den AMPA-Rezeptor, da der NMDA-Rezeptor durch einen  $Mg^{2+}$ -Block noch nicht aktiviert werden kann. Es kommt Glutamat-vermittelt zu einem  $Na^+$ -Einstrom durch den AMPA-Rezeptor in das postsynaptische Neuron und folglich zu einer Depolarisation. Ist diese Depolarisation nun stark genug, kommt es zur Lösung des  $Mg^{2+}$ -Blocks am NMDA-Rezeptor, wodurch mehr  $Na^+$ -Ionen und zusätzlich noch  $Ca^{2+}$ -Ionen in das Neuron einströmen können. Es herrscht ein koordiniertes Zusammenspiel zwischen der Prä- und der Postsynapse. Werden diese Rezeptoren jetzt wiederholt gemeinsam aktiviert, kommt es zu einer Potenzierung, wodurch ein präsynaptisches Signal zu einem stärkeren exzitatorischen postsynaptischen Potential führt. Ein weiterer Grund für die Potenzierung könnte in einer stärkeren Expression derjenigen AMPA-Rezeptoren liegen, die bereits während der Enkodierung induziert worden sind und somit zu einer besseren Abspeicherung führen (Malenka und Nicoll, 1999). Diese Mechanismen führen zu einer langfristigen Veränderung der Erregbarkeit zweier Neurone. Umgekehrt können diese Prozesse auch zu einer Langzeitdepression, kurz LTD (englisch: long-term depression), führen. Im Gegensatz zu der LTP kommt es in diesem Fall nicht zu einer Verstärkung des exzitatorischen postsynaptischen Potentials, sondern zu einer Abschwächung. Welcher der beiden Mechanismen nun zum Tragen kommt, hängt also von

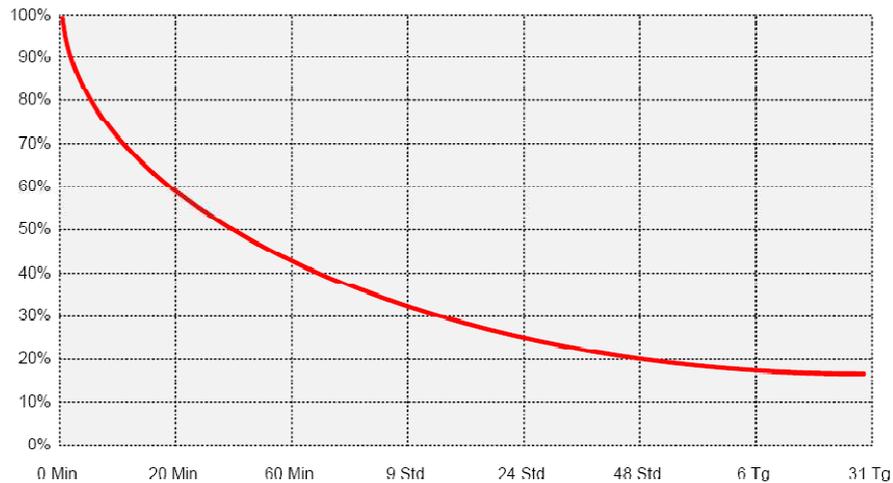
der Frequenz der Stimulation und der damit verbundenen neuronalen Plastizität ab. Diese neuronale Plastizität ist in mehreren gedächtnisrelevanten Regionen und insbesondere im Hippocampus (Bliss et al., 2003), sowie in neocortikalen Regionen, nachgewiesen worden (Bear und Kirkwood, 1993). Sie werden als die neurochemischen Prozesse angesehen, die der Gedächtniskonsolidierung zu Grunde liegen.

Bezüglich des non-deklarativen Gedächtnisses gehen andere Studien ebenfalls von dieser Form der neuronalen Plastizität aus (u.a. Asanuma und Pavlides, 1997).

## **2.3 Vergessen und Verdrängen**

### **2.3.1 Vergessen**

Jeder kennt das Phänomen des Vergessens, sei es nur ein verlegter Wohnungsschlüssel oder seien es wichtige Fakten, die einem in Prüfungssituationen plötzlich nicht mehr einfallen. Der Unterschied zur Verdrängung beruht hierbei auf dem unfreiwilligen, unbewussten Verlust von Gedächtnisinhalten. Wie viel und wie schnell wir zuvor gelernte Informationen wieder vergessen, hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. So vergessen wir in der Regel unwichtige oder wenig emotional besetzte Informationen leichter als wichtige oder besonders emotionale Inhalte. Ebbinghaus beobachtete 1885 in diesem Zusammenhang das Ausmaß des Vergessens über die Zeit (siehe Abbildung 5). In seinem Selbstexperiment lernte er acht 13-silbige Reihen und testete nach unterschiedlich langer Zeit, an wie viele dieser sinnlosen Silben er sich noch erinnern konnte und wie lange das erneute fehlerfreie Lernen dauerte. Eine Silbe bestand hierbei aus drei Buchstaben: einem Konsonanten, gefolgt von einem Vokal und einem Konsonanten (bspw. „JOK“). Anhand der Zeitersparnis beim erneuten Silbenlernen errechnete er die Vergessens-Rate. Nach 20 Minuten betrug die Lernerparnis, um erneut alle Silben richtig zu nennen, fast 60 Prozent. Nach einer Stunde betrug sie nur noch 45 Prozent. Dies bedeutet, dass je mehr Zeit seit dem erstmaligen Lernen vergangen war, desto weniger Lernerparnis hatte Ebbinghaus beim erneuten Lernen der Silben. Die Vergessens-Rate war anfänglich sehr groß, verlangsamte sich aber mit der Zeit, bis schließlich nach etwa einem Monat eine dauerhafte Behaltens-Rate erreicht wurde und die Vergessens-Rate gegen Null gegangen war. Ein gewisser Prozentsatz wurde also nie vergessen.



**Abbildung 5: Die Ebbinghausche Vergessenskurve**

**Auf der Y-Achse ist die Lernersparnis in Prozent (%) angegeben und auf der X-Achse die jeweils vergangene Zeit. Nach einem Monat läuft die Vergessens-Rate langsam gegen 0. Eine dauerhafte Behaltens-Rate in Form einer konstanten Lernersparnis wird erreicht.**

Der Grund hierfür liegt in der bereits erläuterten, begrenzten Speicherkapazität des Hippocampus. Aber auch aus dem Langzeitgedächtnis können Informationen verloren gehen. Für dieses Vergessen sind bisher drei Theorien aufgestellt worden: Die Interferenz-Theorie, die Spurenerfall-Theorie und das Fehlen geeigneter Abrufreize (Oberauer und Lewandowski, 2008).

Die Interferenz-Theorie<sup>3</sup> besagt, dass gelernte Gedächtnisinhalte durch ähnliche Informationen erheblich beeinträchtigt werden können. Diese sogenannte Gedächtnishemmung kann dabei proaktiv, durch zuvor gelernte Inhalte, oder retroaktiv, durch darauf folgende Stimuli überlagert und somit gestört werden. Auch besonders emotionale Behaftungen führen zu einer Beeinflussung des Gedächtnisabrufes (emotionale Interferenz). Der zeitliche Aspekt wird in der Spurenerfall-Theorie aufgegriffen. Sie bringt zum Ausdruck, inwiefern mit fortschreitender, vergangener Zeit die Gedächtnisinhalte immer mehr verblassen und schließlich komplett zerfallen. Dieser Prozess ist im Gegensatz zur Gedächtnishemmung ein eher passiver Vorgang. Die dritte Theorie beschreibt ein Misslingen des Abrufes. Viele Wissenschaftler sind der Meinung, dass einmal im Langzeitgedächtnis abgespeicherte Informationen dort auch verbleiben und dabei weder mit der Zeit schwächer werden noch zerfallen. Es fehlen lediglich die geeigneten Abrufreize, sogenannte Cues, um an die geforderten Informationen wieder heranzukommen (Tulving und Psotska, 1971).

<sup>3</sup> Siehe auch: 2.4 Schlaf und Gedächtnis (Jenkins und Dallenbach, 1924)

Das Vergessen kann also als ein inaktiver Prozess angesehen werden, dem der aktive Prozess der Verdrängung gegenüber steht.

### **2.3.2 Verdrängen**

Schon Freud postulierte vor über 100 Jahren, dass es im menschlichen Organismus eine Möglichkeit gibt, unerwünschte oder unangenehme Erinnerungen in das Unterbewusstsein zu schieben (Freud und Breuer, 1895). Er nannte diesen Vorgang Verdrängung. Dieser geschieht laut Freud völlig unbewusst, ohne die willentliche Kontrolle des Menschen. Diese Erinnerungen bleiben dabei unter der Oberfläche vorhanden und können zum Beispiel durch Hypnose oder in Träumen wieder bewusst werden. Solche Reaktionen auf sehr belastende Erlebnisse sind für den Menschen von großer Bedeutung. Von dieser Ansicht unterscheidet sich der durch Anderson und Green definierte Begriff der selbstinduzierten Suppression (Anderson und Green, 2001). Sie untersuchten, ob es eine bewusste und willentlich kontrollierte Unterdrückung in Form einer expliziten Kontrollfunktion gibt. Sie betonten dabei, wie schwierig es sei, die von Freud postulierte Verdrängung wissenschaftlich zu belegen, da die untersuchten Erinnerungen zumeist mit unangenehmen Erlebnissen zusammenhingen. In der vorliegenden Arbeit wird das Versuchsdesign von Anderson und Green aufgegriffen. Dabei werde ich im Folgenden die Begriffe selbstinduzierte Suppression, aktives Vergessen sowie Verdrängung synonym verwenden. Wichtig ist hierbei, dass in dieser Arbeit die Verdrängung im Sinne eines aktiven Vergessens gesehen wird und nicht auf den ursprünglich psychoanalytisch von Freud definierten Begriff zurückgeht.

Um nun die willentliche Verdrängung zu untersuchen, entwickelten sie in Anlehnung an das Go/No-Go Paradigma, das sogenannte Think/No-Think Paradigma. Das Go/No-Go Paradigma untersucht die motorische Inhibitionsfähigkeit. Ein typisches Beispiel für dieses Design sind Reiz-Reaktions-Aufgaben. Auf einen häufigen Reiz, zum Beispiel in Form eines immer gleich klingenden Tons, soll immer eine motorische Reaktion, zum Beispiel in Form eines Tastendrucks erfolgen. Auf einen seltenen, andersartigen Ton soll dann nicht reagiert werden, die motorische Reaktion wird unterdrückt (Zimmermann und Fimm, 2002).

Bei dem Versuchsdesign von Anderson und Green wird jedoch nicht die motorische, sondern die kognitive Reaktion unterdrückt. Zu Beginn der Aufgabe lernen die Probanden eine Reihe von Wortpaaren, indem sie versuchen eine Assoziation zwischen den Signal-

und Zielwörtern zu erstellen. Bei erneuter, alleiniger Darstellung des Signalwortes versucht dann der Proband, das richtige Zielwort zu benennen. In der anschließenden Think/No-Think Aufgabe werden die Signalwörter in drei Gruppen aufgeteilt: Die grün markierten Signalwörter, auf die weiterhin geantwortet werden soll (Response Pairs), die roten Signalwörter, bei denen die Erinnerungen an das assoziierte Zielwort unterdrückt werden sollen (Suppression Pairs) und die Baseline-Wörter (Baseline), die in dieser Phase nicht abgefragt werden. Die Farben zielen auf den „Ampel-Effekt“ ab. Rote Signalwörter bedeuten „Stopp“, das Zielwort darf nicht erinnert werden, und die grünen Signalwörter erlauben ein Erinnern des jeweiligen Zielwortes. Die kognitive Reaktion auf rote Signalwörter soll also unterdrückt werden. Die Signalwörter werden in randomisierter Reihenfolge und in unterschiedlicher Häufigkeit (0-, 1-, 8- oder 16-mal) gezeigt. In der finalen Abfrage, nach einem Konsolidierungsintervall von etwa acht Stunden, ist die farbliche Markierung wieder aufgehoben, und die Probanden versuchen auf alle Signalwörter zu antworten.<sup>4</sup>

Anderson und Green konnten in ihrer Studie einen signifikanten Suppressionseffekt nachweisen. In der finalen Abfrage wurden die Zielwörter, die verdrängt werden sollten, signifikant schlechter, bzw. gar nicht mehr erinnert. Dieser Effekt verstärkte sich, je öfter versucht wurde, das jeweilige Zielwort zu verdrängen. Diese Ergebnisse sind dabei nicht nur auf einen Übungseffekt derjenigen Wörter zurückzuführen, auf die geantwortet werden sollte, denn die Suppression Pairs wurden zudem signifikant schlechter erinnert als die Baseline-Wörter, die das Maß des normalen Vergessens darstellten. Auch ein zusätzlicher Anreiz in Form von einem Geldgewinn, konnte die Ergebnisse nicht in eine andere Richtung lenken. In einem weiteren Unterexperiment wurde den Probanden bewusst eine falsche Hypothese erzählt. Sie sollten glauben, dass gerade das bewusste „nicht an das Zielwort denken“ zu einem besseren Abruf führen würde. Auch in diesem Design blieben die Ergebnisse die gleichen.

Bei der sogenannten „Independent Probe“ (kurz: IP) wurden nur Oberbegriffe zu den jeweiligen Zielwörtern mit dem dazugehörigen Anfangsbuchstaben gezeigt (z.B. Geld-Kirsche: Obst - K). Mit dieser Abfrage wollten Anderson und Green zusätzlich nachweisen, ob lediglich die Assoziation zwischen den Signal- und Zielwörtern verloren ging, bzw. eine neue, alternative Assoziation zu einer Überlagerung führte, oder ob das Zielwort an sich tatsächlich verdrängt wurde (Anderson und Green, 2001).

---

<sup>4</sup> Zur genaueren Beschreibung des Think/No-Think Paradigmas siehe auch: 4 Material und Methoden.

Um nun genauer darzustellen, welche neurologischen Mechanismen hinter dem Suppressionseffekt stecken, führten sie ein vergleichbares Design unter der Kontrolle eines funktionellen Magnetresonanztomographens (kurz: fMRT) durch. Dieser sollte die Stoffwechselfvorgänge und somit die neuronale Aktivität verschiedener Hirnregionen zeigen (Anderson et al., 2004). Ihre Aufmerksamkeit richteten sie dabei auf Strukturen, die bereits im Zusammenhang mit der motorischen Inhibition bekannt waren. Dieses ist vor allem der laterale präfrontale Cortex (MacDonald et al., 2000). Es zeigten sich charakteristische Veränderungen während der Suppressionsbedingungen. Hierbei fiel eine erhöhte Aktivität im präfrontalen, genauer im dorsolateralen und ventrolateralen präfrontalen, Cortex<sup>5</sup> auf. Des Weiteren wurde eine verminderte Aktivität im Hippocampus aufgezeigt, der zentralen Figur bei der Gedächtniskonsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte. Sie folgerten daraus, dass der Hippocampus durch präfrontale Cortexareale in seiner Funktion blockiert wird und dieses so zu einer Gedächtnisverdrängung führt. Der präfrontale Cortex stellt also eine Art obere Handlungskontrolle dar. Insgesamt kamen sie zu dem Ergebnis, dass es einen willentlichen Suppressionseffekt gibt, der unter der Kontrolle des präfrontalen Cortex steht.

Die Forschergruppe um Depue (2007) erweiterte dieses Versuchsdesign, indem sie eine emotionale Komponente in Form verschiedener emotional belastender Bilder, von beispielsweise einem schweren Unfall oder einem verwundeten Soldaten, einbauten. Sie beobachteten die Vorgänge im Gehirn ebenfalls mittels eines fMRT. Sie definierten für die Unterdrückung emotional belastender Ereignisse einen zweistufigen Prozess: Zunächst beeinflusst der präfrontale Cortex, genauer der rechte Gyrus frontalis inferior, den sogenannten sensorischen Cortex, der unter anderem für die Wahrnehmung von Bildeindrücken verantwortlich ist. In einem zweiten Schritt unterdrückt ein weiterer Teil des präfrontalen Cortex, der rechte Gyrus frontalis medius, die Aktivität von zwei weiteren Hirnregionen. Zum einen schickt er Hemmsignale zum Hippocampus und zum anderen an die Amygdala, die für die Bewertung emotionaler Komponenten von Bedeutung ist. Sie folgerten daraus, dass wir Menschen eine gewisse willentliche Kontrolle über emotional belastende Erinnerungen haben, auch wenn solche Bilder nur schwer mit stark belastenden Erlebnissen zu vergleichen sind.

---

<sup>5</sup> Neben den erwähnten Strukturen sind noch weitere Hirnstrukturen während der Suppression aktiv, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird. Genauere Informationen, siehe Anderson et al. (2004).

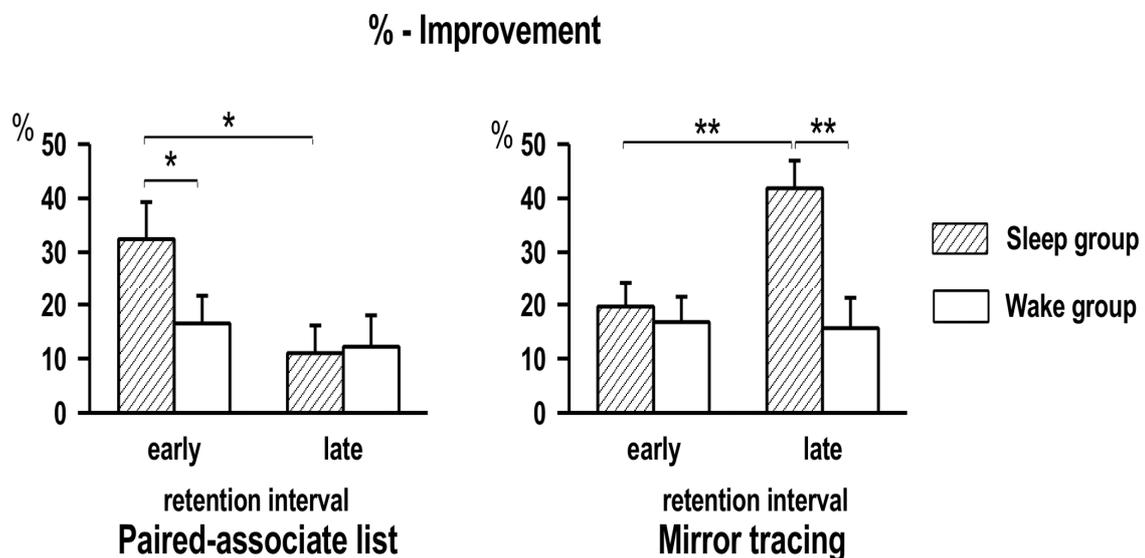
## 2.4 Schlaf und Gedächtnis

Bereits seit mehreren Jahrzehnten beschäftigt sich die Forschung intensiv mit dem Phänomen, dass sich Schlaf förderlich auf die Gedächtnisbildung auswirkt. Vielfach wird die Studie von Jenkins und Dallenbach (1924) als Ausgangspunkt für die Erforschung des positiven Einflusses auf die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten genannt. Sie untersuchten, inwiefern unterschiedlich langer Schlaf, von 1-8 Stunden, Einfluss auf zuvor gelernte sinnlose Silben ausüben kann. Die Ergebnisse verglichen sie mit Daten aus gleich langen Wachperioden. Sie entdeckten zum einen, dass die Gedächtnisleistung nach einer unmittelbar auf die Lernphase folgenden Schlafphase signifikant besser war als nach einem vergleichbaren Wachintervall, und zum anderen verstärkte sich dieser Effekt mit zunehmender Schlafdauer. Die Ergebnisse dieser Studie konnten durch viele weitere Untersuchungen bestätigt werden, die unter anderem ein größeres Probandenkollektiv und andere Lernmaterialien verwendeten (z.B. Newman, 1939; Ekstrand, 1967; Peigneux, 2001; Stickgold, 2005).

Um die Bedeutung des REM-Schlafes auf die Langzeitgedächtnisbildung zu untersuchen, wurde im Jahre 1965 die Methode der selektiven REM-Schlaf-Deprivation entwickelt, kurz REMD (Sampson, 1965). Bei dieser Methode wurden die Probanden immer geweckt, sobald sie in eine REM-Schlafphase kamen. Vor allem im Humanversuch zeigte dieses Versuchsdesign recht uneinheitliche Ergebnisse, wohingegen tierexperimentelle Untersuchungen sowohl im deklarativem als auch im prozeduralem Bereich Defizite durch die selektive REM-Schlaf Unterdrückung zeigten (z.B. Fishbein, 1971; Miller et al., 1971). Kritiken, die gegenüber dieser Methode geäußert wurden, umfassten beispielsweise den erhöhten Stress und den damit zusammenhängenden erhöhten Cortisolspiegel, der durch das ständige Wecken zwangsläufig entsteht (Horne und McGrath, 1984). Da Glukokortikoide erwiesenermaßen die Gedächtnisleitung beeinträchtigen, ist es schwierig anhand eines solchen Versuchsdesigns eindeutige Folgerungen bezüglich des Einflusses von REM-Schlaf auf das Gedächtnis zu ziehen (Born und Gais, 2000). Einen Durchbruch in der Gedächtnisforschung gelang der Gruppe um Ekstrand (Barrett und Ekstrand, 1972), indem sie ein Design entwickelten, welches zwar insgesamt nur eine Schlafperiode von vier Stunden beobachtet, diese aber weitestgehend dem natürlichen Schlaf entspricht, da das ständige Erwecken und der damit verbundene Stress ausbleiben. Auf Grund der unterschiedlichen Verteilung von SWS- und REM-Phasen während einer nächtlichen Schlafperiode, teilten sie diese in eine erste, frühe Nachthälfte, die durch einen hohen

Anteil an SWS gekennzeichnet ist und in eine zweite, späte Nachthälfte mit einem erhöhten REM-Anteil. Die Probanden der ersten Hälfte enkodierten das zu lernende Material vor dem Schlafen, nach einer Konsolidierungsphase von etwa vier Stunden folgte im Anschluss die Abfrage. Die Probanden der zweiten Gruppe schliefen zunächst für vier Stunden, um ihren Bedarf an SWS zu decken, beschäftigten sich dann mit den jeweiligen Gedächtnisaufgaben und gingen anschließend wieder für etwa vier Stunden schlafen. Diese Periode wurde erwartungsgemäß vom REM-Schlaf dominiert (Yaroush et al., 1971; Fowler et al., 1973). Mit diesem Versuchsdesign konnten die Einflüsse der verschiedenen dominierten Schlafphasen erstmals einzeln untersucht und verglichen werden.

Ekstrand und seine Mitarbeiter konnten zum ersten Mal eine deutlich positive Beeinflussung des deklarativen Gedächtnisses durch SWS nachweisen, wohingegen die zweite, REM-Schlaf-reiche Nachthälfte keinen förderlichen Einfluss auf den Abruf zuvor gelernter Wortpaare aufwies. Plihal und Born (1997) wendeten dieses Versuchsdesign auf das prozedurale Gedächtnis an und fanden ebenfalls einen eindeutigen Effekt (Abbildung 6). Sie verglichen den Einfluss der verschiedenen Nachthälften sowohl auf das prozedurale als auch auf das deklarative Gedächtnis und verglichen diese mit Probanden, die entsprechend lange wach bleiben mussten.



**Abbildung 6: Der Einfluss der zwei Nachthälften auf das deklarative und das prozedurale Gedächtnis**  
**Die deklarative Gedächtnisaufgabe (Wortpaarlernen) profitiert von der ersten, Tiefschlaf-reichen Nachthälfte, die prozedurale Aufgabe (Spiegelzeichnen) von der zweiten, REM-Schlaf-reichen Nachthälfte (aus Plihal und Born, 1997).**

Sie bestätigten die Beobachtungen von Ekstrand und zeigten zusätzlich anhand von Spiegelzeichnen und Priming Prozessen eine positive Beeinflussung der prozeduralen Gedächtnisleistung durch den REM-reichen späten Schlaf. Die Probanden der Wachgruppe zeigten hingegen keine Verbesserungen ihrer Gedächtnisleistung (Plihal und Born, 1999a). Über den genauen Zusammenhang von Schlaf und Gedächtnis wurden über die Zeit verschiedene Theorien aufgestellt. Jenkins und Dallenbach (1924) begründeten ihre Ergebnisse mit der Interferenztheorie. Diese besagt, dass Schlaf vor störenden Stimuli abschirmt und somit die frisch erworbenen Gedächtnisspuren vor Überlagerungen schützt. Viele Argumente sprechen allerdings gegen diese Ansicht. So zeigten unter anderem Stickgold et al. (2000), dass eine Probandengruppe keine Verbesserung der prozeduralen Gedächtnisleistung aufwies, die während des Retentionsintervalls mit verbundenen Augen wach bleiben musste und somit vor störenden Interferenzen geschützt war. Zudem spricht die Tatsache, dass nach dem Schlaf die Gedächtnisleistung auf einem signifikant höheren Niveau lag, ebenfalls gegen die einfache Ansicht, Schlaf schütze lediglich vor störenden Interferenzen.

#### **2.4.1 Schlaf und Reaktivierung**

Vielmehr spielen aktive Prozesse eine bedeutende Rolle bei der Gedächtniskonsolidierung im Schlaf, wie die Hypothese zur verdeckten Reaktivierung deutlich macht. Sie besagt, dass die Zellverbände, die bereits während der Enkodierung gemeinsam aktiviert worden sind, im Schlaf erneut reaktiviert werden. Diese Stimulation bleibt dabei unterschwellig, da sie nicht zu den gleichen Sinneseindrücken wie beim direkten Lernen oder beim späteren Abruf führt (Nadasdy et al., 1999; Sutherland und McNaughton, 2000). Viele Arbeitsgruppen konnten diese Theorie tierexperimentell stützen (Louie und Wilson, 2001; McNaughton et al., 2003). Das verwendete Versuchsdesign umfasste eine Labyrinth-Aufgabe, bei der Ratten versuchen mussten, den richtigen Weg zum Futter zu finden. Während dieser deklarativen Gedächtnisaufgabe wurde die neuronale Aktivität sogenannter *place cells* im Hippocampus abgeleitet. Das sind genau die Neuronen, die kodieren, wo sich die Ratte in ihrer Umgebung befindet. Bei der Enkodierung des richtigen Weges wurde ein spezifisches zeitlich-räumliches Erregungsmuster ausgebildet. In der darauffolgenden Schlafphase konnte dann tatsächlich ein nahezu identisches

hippocampales Erregungsmuster nachgewiesen werden, welches insbesondere im Deltaschlaf zu beobachten war.

Vergleichbare Studien, die Reaktivierungsmuster beim Menschen erforschen, sind erst in den letzten Jahren aufgekommen. Maquet et al. (2000) beobachteten mittels Positronen-Emissions-Tomographen (kurz: PET) die Aktivierungsmuster im menschlichen Gehirn während einer prozeduralen, seriellen Reaktionsaufgabe und der darauf folgenden Schlafphase. Die Probanden verbrachten also nicht nur die Lernphase im PET-Scanner, sondern auch die darauf folgende Nacht. Sie verglichen diese Ergebnisse mit dem Muster einer Probandengruppe, die vor dem Schlafen keine derartige Aufgabe bewältigen musste. Die Unterschiede zwischen beiden Gruppen waren deutlich. Während der REM-Schlafphasen kam es bei der Gruppe mit der prozeduralen Gedächtnisaufgabe zu einer Reaktivierung im prämotorischen Cortex, die bei der Vergleichsgruppe ausblieb. Diese Beobachtung passt ebenfalls gut zu den bereits oben erwähnten Zusammenhängen zwischen der positiven Beeinflussung des prozeduralen Gedächtnisses durch den REM-Schlaf und unterlegt dieses mit einer vom Hippocampus unabhängigen Reaktivierung. Mittlerweile wurden solche PET-Studien auch für Aufgaben mit deklarativem Charakter am Menschen durchgeführt (Peigneux et al., 2004) und zwar anhand einer virtuellen Labyrinth-Aufgabe. In der darauf folgenden Nacht konnte ebenfalls eine Reaktivierung beobachtet werden, nur mit dem Unterschied, dass diese hauptsächlich während der Deltaschlafphasen auftrat und die vorwiegend beteiligte Struktur der Hippocampus war. Das Ausmaß der Reaktivierung korrelierte zudem positiv mit dem Behalten des richtigen Weges.

Diese beiden Studien bestätigen erneut die positive Beeinflussung des prozeduralen Gedächtnisses durch den REM-Schlaf und die ebenfalls positive Beeinflussung des vom Hippocampus abhängigen deklarativen Gedächtnisses durch den Deltaschlaf.

#### **2.4.2 Hippocampaler-Neocortikaler-Dialog**

Bereits unter dem Punkt Gedächtniskonsolidierung wurde das Modell des hippocampalen-neocortikalen Dialogs dargestellt. Der Abruf von bereits gespeicherten Informationen erfolgt aus dem Neocortex und wird, je länger die Erinnerung zurückliegt, vom Hippocampus zunehmend unabhängig. Der Transfer während der Konsolidierungsphase verläuft im Schlaf in die genau entgegengesetzte Richtung, also vom Hippocampus

Richtung Neocortex und dieses besonders während der Tiefschlafphasen (Buzsaki, 1998). Die Reaktivierungen, die dabei im Hippocampus beobachtet werden, zeichnen sich durch ein sogenanntes *sharp wave/ripple* Erregungsmuster aus. Dieses zeitlich-räumlich koordinierte Impulsmuster ähnelt dem der zuvor stattgefundenen Lernphase. Genau diese Reaktivierungen werden als Stimulus für den Transfer über den Hippocampus ins neocortikale Netzwerk gesehen.

Interessant ist in dieser Hinsicht auch der Zusammenhang mit dem Neurotransmitter Acetylcholin, welcher während der Deltaschlafphase auf ein natürliches Minimum abfällt. Laut Hasselmo (1999) ist diese Suppression eine Voraussetzung für die Reaktivierungen. Gais und Born führten 2004 ein Versuchsdesign durch, bei dem in der ersten Nachthälfte ein Cholinesterase-Hemmer gegeben wurde, um die AcetylcholinKonzentration künstlich zu heben. Der Deltaschlaf zeigte keine konstanten Veränderungen im EEG, wohingegen der Abruf von zuvor gelerntem deklarativen Material deutlich negativ beeinflusst wurde. Die Prozesse, die durch den erhöhten Acetylcholinspiegel gestört werden, liegen also vermutlich im Hippocampus und führen zu einer erheblichen Beeinträchtigung deklarativer Gedächtnisprozesse.

### **2.4.3 Hormone**

Die Modulation verschiedener neuroendokriner Mechanismen im Schlaf scheint ebenfalls an der Gedächtniskonsolidierung im Schlaf beteiligt zu sein. Die genauen Hintergründe, wie sie letztendlich zu einer Stärkung der Gedächtnisbildung führen, sind aber noch unbekannt. Der gesunde menschliche Schlaf zeigt neben einer gewissen Regelmäßigkeit der Schlafphasen auch eine Regelmäßigkeit in Form zirkadianer Hormonausschüttungen. Besonders das Glukokortikoid Cortisol und das Wachstumshormon (englisch: growth hormon, kurz: GH) unterliegen starken zirkadianen Schwankungen. Bei gesunden Probanden ist ein entgegengesetzter Verlauf der jeweiligen Maxima und Minima im Schlaf zu beobachten. Während Cortisol, das über die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse ausgeschüttet wird, in der ersten Nachthälfte seinen Tiefpunkt und in den frühen Morgenstunden sein Maximum erreicht, verhält es sich beim GH genau gegensätzlich. Eine starke Sekretion ist lediglich in der ersten Nachthälfte zu verzeichnen. Diese Beobachtung führte dazu, den Einfluss dieser Hormone auf die Gedächtniskonsolidierung genauer zu untersuchen. Vor allem, da die GH-Sekretion positiv mit dem Auftreten von SWS korreliert und die Cortisolkonzentration mit dem Auftreten

von SWS durch eine Erniedrigung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achsen-Aktivität abfällt (Born et al., 1988; Bierwolf et al., 1997). Ein Versuchsdesign, welches den Cortisolspiegel der ersten Nachthälfte anhebt, sollte nun die Beeinflussung des deklarativen Gedächtnisses zeigen, da dieses bekanntermaßen vom SWS profitiert. Durch die Gabe von Dexamethason, einem Glukokortikoid-Rezeptor-Agonisten, wurde die Cortisolkonzentration der ersten Nachthälfte erhöht. Die sonst zu beobachtende Verbesserung bei der Testung deklarativer Aufgaben, blieb unter diesen Bedingungen aus (Plihal und Born, 1999b). Die Glukokortikoidrezeptoren, die für diesen Effekt verantwortlich sind, liegen vermutlich direkt im Hippocampus (Plihal et al., 1999). Die niedrigere Cortisolkonzentration scheint also für die Konsolidierung deklarativer Aufgaben essentiell zu sein.

Eine Beteiligung des Wachstumshormons an der Gedächtniskonsolidierung konnte hingegen nicht gezeigt werden (Gais et al., 2006).

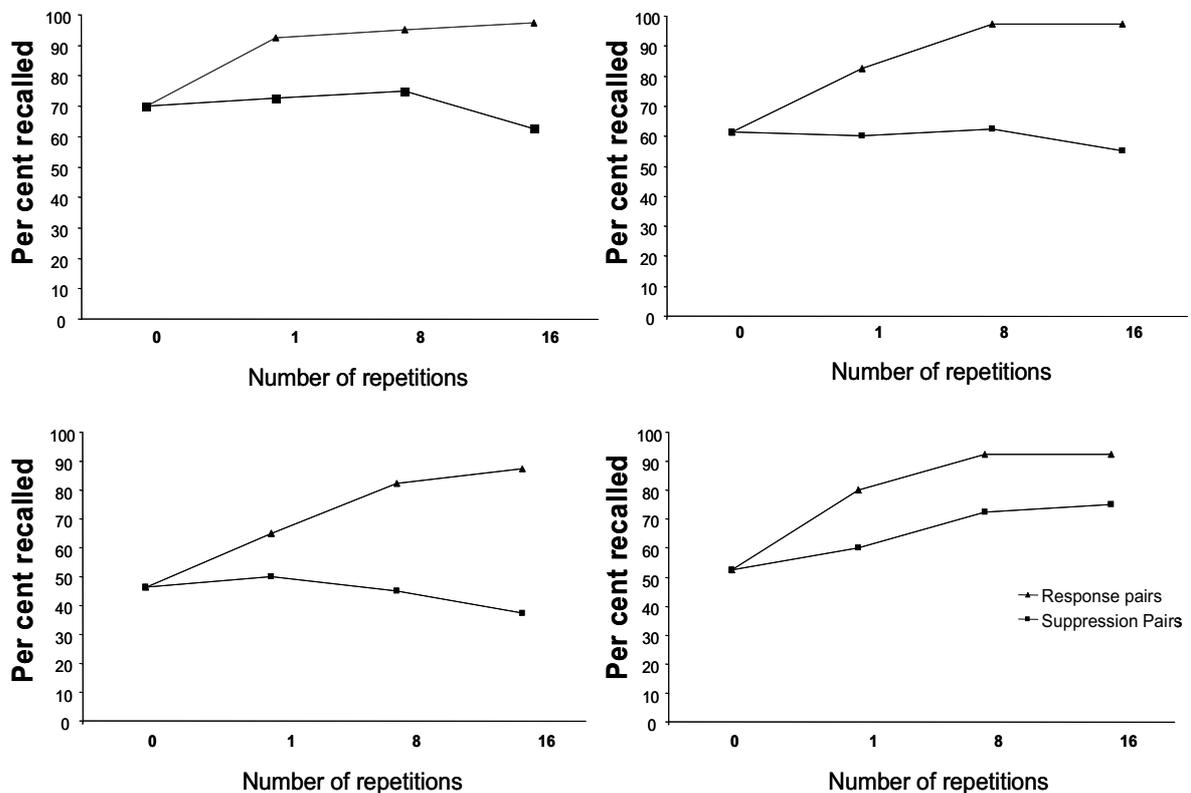
## **2.5 Schlaf und Verdrängung**

Bereits im Abschnitt Vergessen und Verdrängen wird auf den aktuellen wissenschaftlichen Stand zur bewussten Verdrängung von zuvor gelernten Gedächtnisinhalten eingegangen. Diesen Effekt wissenschaftlich zu belegen ist besonders schwierig, doch mit dem Think/No-Think Paradigma ist ein Modell entwickelt worden, welches einen Suppressionseffekt nachweisen kann. Insgesamt sind bisher nur sehr wenige Studien veröffentlicht worden, die sich mit diesem Thema beschäftigen und noch weniger Studien gibt es, die in diesem Zusammenhang den Einfluss von Schlaf auf die Verdrängung untersuchen.

Eine der ersten Studien, die hierzu durchgeführt worden ist, ist eine Studie von Fischer und Kollegen (unveröffentlichte Daten). Sie wendeten das bekannte Think/No-Think Paradigma an und untersuchten den Einfluss der ersten, SWS-reichen Nachthälfte und der zweiten, REM-Schlaf-reichen Nachthälfte auf den Suppressionseffekt und verglichen diesen mit den jeweiligen Wach-Kontrollgruppen. Mit dieser Studie konnte erneut gezeigt werden, dass das wiederholte Üben von Signalwörtern, auf die geantwortet werden sollte, mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen zu einem immer besseren Abruf führte. Dieses traf auf alle vier Versuchsbedingungen zu. Einen Suppressionseffekt, wie ihn Anderson und Green 2001 definierten, konnten sie allerdings nicht nachweisen. Die Suppression Pairs wurden zwar signifikant schlechter erinnert als die Response Pairs,

jedoch zeigte sich im Baseline-Vergleich keine Signifikanz. Nach 16 Wiederholungen wurden die Suppression Pairs zwar schlechter als die Baseline-Wörter erinnert, jedoch war dieses nur ein numerischer und kein signifikanter Unterschied.

In derjenigen Probandengruppe, bei der nach der Endkodierung eine REM-Schlaf-reiche Nachthälfte folgte, kam es jedoch zu einer Umkehrung des Suppressioneffektes. Die Wörter, die verdrängt werden sollten, wurden signifikant besser erinnert als die Baseline-Wörter. Insgesamt blieb ihr Abruf aber schlechter als der der sogenannten Response Pairs (siehe Abbildung 7). Die vorliegende Arbeit baut auf diesen Ergebnissen auf. Deshalb wird im Diskussionsteil auf die Ergebnisse beider Studien im Zusammenhang eingegangen.



**Abbildung 7: Recall der Response und Suppression Pairs**

Recall der Response und Suppression Pairs nach 0, 1, 8 und 16 Wiederholungen (in Prozent). 0 Wiederholungen entsprechen dem Baseline-Wert. In der oberen Reihe ist das frühe, in der unteren Reihe das späte Retentionsintervall dargestellt. Links steht die jeweilige Wachgruppe, rechts die Schlafgruppe. Die obere Schlafgruppe wird vom SWS dominiert und die untere Schlafgruppe vom REM-Schlaf.

### **3 Fragestellung und Hypothesen**

Auf Grund der Ergebnisse der vorangegangenen Studie von Fischer und Kollegen, die gezeigt hat, dass besonders die zweite REM-Schlaf dominante Nachthälfte dem Verdrängen entgegen wirkt, war das Ziel der vorliegenden Arbeit, den Einfluss einer ganzen Nacht auf die Verdrängung zu untersuchen. Es ergeben sich somit folgende Fragestellungen:

- (i) Welchen Einfluss hat Schlaf auf das aktive, bewusste Verdrängen von zuvor gelernten Gedächtnisinhalten?
- (ii) Verstärkt das wiederholte Verdrängen diesen Effekt?

Mit diesem Versuchsdesign soll nun gezeigt werden, dass eine ganze Nacht mit sowohl Tiefschlaf- als auch REM-Schlaf-Phasen einen ähnlichen Effekt auf die Verdrängung ausübt, wie die REM-Schlaf dominante, zweite Nachthälfte. Des Weiteren wird erwartet, dass mit dem wiederholten, bewussten Verdrängen dieser Effekt noch verstärkt wird.

## **4 Material und Methoden**

### **4.1 Probandenkollektiv**

An diesem Experiment nahmen 32 gesunde männliche und weibliche (13 Männer, 19 Frauen) Nichtraucher im Alter von 18-35 Jahren (Mittelwert 23,2 Jahre) ohne gegenwärtige oder zurückliegende Schlafstörungen teil. Alle Teilnehmer berichteten über einen normalen Schlaf-Wachrhythmus mit durchschnittlich 7,5 Stunden Schlaf pro Nacht. Des Weiteren arbeitete keiner von ihnen während der drei vorangegangenen Wochen im Schichtsystem, beziehungsweise während einer Nachtschicht. Zum Zeitpunkt des Experiments nahmen sie keine Medikamente ein.

Die Teilnehmer wurden instruiert, am Tag der experimentellen Untersuchung vor 8:00 Uhr morgens aufzustehen, keine koffein- oder alkoholhaltigen Getränke zu konsumieren und auf einen Mittagsschlaf zu verzichten.

Die Teilnehmer gaben nach vorheriger schriftlicher und mündlicher Aufklärung ihre Einwilligung und erhielten zudem für ihre Teilnahme eine Aufwandsentschädigung. Das Experiment wurde zuvor von der örtlichen Ethikkommission der Universität zu Lübeck genehmigt.

### **4.2 Ablauf und Versuchsdesign**

In diesem Experiment wurden zwei verschiedene Versuchsbedingungen miteinander verglichen. Die Probanden in diesem between-subject-Design wurden je zur Hälfte der Schlafgruppe und der Wach-Kontrollgruppe zugeteilt. Ein Schema zum Versuchsablauf ist in Tabelle 2 dargestellt.

Die Versuchspersonen der Schlafgruppe wurden durch eine Eingewöhnungsnacht mit der Umgebung des Schlaflabors und insbesondere mit den aufgeklebten EEG-Elektroden vertraut gemacht, um möglichen Störungen durch die fremde Schlafsituation in der Experimentalnacht vorzubeugen. Die Eingewöhnungsnacht fand unter Versuchsbedingungen statt. Nach dem Anbringen von acht EEG-Elektroden am Kopf für die polysomnographische Aufzeichnung gingen die Probanden in der Regel um 23:00 Uhr zu Bett und wurden nach sieben Stunden wieder geweckt. Lediglich ein Proband durfte nach der Eingewöhnungsnacht nicht mehr an dem weiteren Experiment teilnehmen, da er über die gesamte Nacht keinen ausreichend tiefen Schlaf (Stadium III, IV) erreichen konnte.

Die Probanden der Schlafgruppe kamen abends um 20:00 Uhr in das Schlaflabor im Institut für Neuroendokrinologie. Nachdem die EEG-Elektroden appliziert und verschiedene Fragebögen (Einverständniserklärung, Probandendaten und Stanford Schläfrigkeitsskala) und Tests (vier verschiedene Regensburger Wortflüssigkeitstests) durchgeführt wurden, konnte mit der eigentlichen Lernaufgabe um 21:30 Uhr begonnen werden. Danach gingen sie in einen schallgeschützten Raum zu Bett, und das Licht wurde ausgeschaltet. Nach sieben Stunden wurden die Probanden geweckt, sobald sie sich nicht mehr in einer Tief- oder REM-Schlafphase befanden, da das Wecken aus diesen Schlafphasen den nachfolgenden Gedächtnisabruf negativ beeinflusst (Stones, 1977). Direkt nach dem Wecken wurden die Elektroden entfernt, und ein Schlaffragebogen (SF-A) zur Beurteilung der Schlafqualität wurde von den Probanden ausgefüllt. Somit konnte der Gedächtnisabruf 15 Minuten nach dem Aufstehen stattfinden. Anschließend wurden die gleichen Fragebögen, wie am Abend zuvor ausgefüllt (Stanford Schläfrigkeitsskala, Regensburger Wortflüssigkeitstest), inklusive einem Strategiefragebogen.

Für die Teilnehmer der Wachgruppe galten die gleichen Bedingungen mit der Ausnahme, dass sie morgens um 8:00 Uhr ins Schlaflabor kamen und bis zur Abfrage am späten Nachmittag wach bleiben mussten. Sie durften keinen Mittagsschlaf halten, keinen Koffein oder Alkohol konsumieren und keine außergewöhnlichen körperlichen und geistigen Anstrengungen unternehmen. Des Weiteren wurden sie unterwiesen, das gelernte Material nicht geistig zu rekapitulieren. Anstelle des Fragebogens zur Schlafqualität mussten sie ihren Tagesablauf in Stichworten niederschreiben. Die Probanden beschäftigten sich in der Regel mit alltäglichen Arbeiten wie Putzen, Fernsehen, Sport, Einkaufen und Kochen.

**Tabelle 2: Schematischer Versuchsablauf**

	<b>21:30- 23:00h</b>	<b>23:00- 6:00h</b>	<b>6:00- 7:00h</b>	<b>8:00- 9:30h</b>	<b>9:30- 16:30h</b>	<b>16:30- 17:30h</b>
1	Lernen	Schlaf	Abruf			
2				Lernen	Wach	Abruf
1) <b>Schlafgruppe</b>						
2) <b>Wachgruppe</b>						

### **4.3 Think/No-Think-Aufgabe**

#### **4.3.1 Wortpaar-Assoziationstest**

Zu Beginn der Lernphase wurden insgesamt 50 Wortpaare gelernt, bis ein Kriterium von 50% (25 richtige Wortpaare) erreicht wurde. Die semantisch nicht zusammenhängenden Wörter (z.B. Henne - Form) wurden in weißer Schrift auf schwarzem Hintergrund, mittig auf einem Computerbildschirm automatisch angezeigt, wobei es sich ausschließlich um deutsche Substantive mit maximal neun Buchstaben handelte. Auf der linken Seite des Bildschirms stand das Signalwort und auf der rechten Seite das dazugehörige Zielwort. Für jeweils 5 Sekunden erschien ein einzelnes Wortpaar auf dem Bildschirm und nach einer Pause von 800ms, in dem nur der schwarze Bildschirmhintergrund gezeigt wurde, folgte das jeweils nächste Wortpaar. Insgesamt acht verschiedene Versionen mit einer randomisierten Häufigkeit und Reihenfolge der Signalwörter wurden zuvor entworfen, um unter anderem dem seriellen Lernen vorzubeugen. Die fünf ersten und letzten Paare wurden für die spätere Think/No-Think Phase nicht verwendet, um zusätzlich die sogenannten Primacy- und Recencyeffekte zu vermeiden.

Nachdem alle 50 Wortpaare einmal gelernt wurden, folgte im direkten Anschluss die Abfrage. Bei alleiniger Darstellung des linken Signalwortes, welches für 5 Sekunden auf dem Bildschirm erschien, versuchte der Proband das fehlende rechte Zielwort zu erinnern und es laut zu sagen, sobald es ihm einfiel. Ein direktes Feedback erfolgte in Form einer 2-sekündigen Darstellung des richtigen Zielwortes in blauer Schrift. Nach einer Pause von 500ms (schwarzer Bildschirm) folgte das nächste Signalwort.

Wurde das Kriterium von 50% nach insgesamt drei Abfragedurchgängen nicht erreicht, musste der Proband von dem weiteren Experiment ausgeschlossen werden. Dieses traf auf sechs Teilnehmer zu (zwei aus der Schlafgruppe, vier aus der Wachgruppe). Die restlichen Probanden konnten mit der Think/No-Think Aufgabe beginnen.

#### **4.3.2 Think/No-Think Phase**

In dieser Aufgabe wurden nur noch die jeweiligen Signalwörter gezeigt. Sie waren je zur Hälfte entweder rot oder grün markiert. Die Probanden wurden instruiert, bei grünen Begriffen weiterhin das jeweilige Zielwort zu erinnern und es laut zu sagen. Für die zweite, rote Hälfte galt es aber, nicht an das dazugehörige Wort zu denken. Es sollte ihnen nicht einmal in den Sinn kommen. Wie sie dabei die Erinnerung unterdrückten, blieb ihnen überlassen. Antwortete ein Proband versehentlich trotzdem auf ein rotes Signalwort,

erklang ein 1,5 Sekunden dauernder, lauter Warnton. Dabei war es sehr wichtig, dass die Probanden die gesamten 3 Sekunden auf das Wort schauten und es sich verinnerlichten. Ein Feedback gab es in dieser Phase nicht mehr. Ein Pausenintervall von 600ms folgte auf jeden Begriff. Da es einige Durchgänge benötigt, um sich an diese Aufgabenstellung zu gewöhnen und bei roten Wörtern nicht an das dazugehörige Zielwort zu denken, wurden insgesamt zwei Übungsdurchgänge gestartet, in denen nacheinander in randomisierter Reihenfolge zehn verschiedene Signalwörter gezeigt wurden, von denen eins rot und neun grün markiert waren. Die grünen Signalwörter wurden je 2-mal präsentiert, das Rote insgesamt 8-mal. Beide Übungsdurchgänge unterschieden sich also lediglich in der Reihenfolge, in der die Wörter auf dem Bildschirm erschienen.

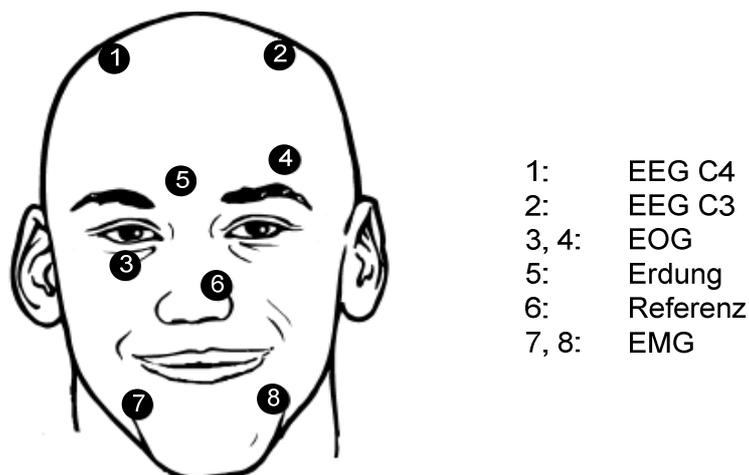
Zwischen beiden Durchgängen wurde ein Strategiefragebogen ausgeteilt, der einen ersten Einblick in die Ausführung der Aufgabe bot und somit zeigte, ob es den Teilnehmern gelungen war, nicht an das jeweilige Zielwort zu denken. Nach beiden Übungsdurchgängen folgte schließlich die 20-minütige Think/No-Think Phase. Insgesamt 30 Signalwörter (15 rot, 15 grün) wurden verschieden oft dargestellt, wobei je fünf Wörter einer Farbe entweder 1-, 8-, oder 16-mal gezeigt wurden, um den Effekt der wiederholten Verdrängung zu beobachten. Weitere zehn grün markierte Signalwörter aus der Lernphase dienten lediglich als Füllwörter, um für ein Überwiegen derjenigen Wörter zu sorgen, auf die laut geantwortet werden sollte. Die restlichen zehn Begriffe, die in dieser Phase nicht gezeigt wurden, ergaben die Baseline.

Nach einer Konsolidierungsphase von 7 Stunden folgte der Gedächtnisabruf. Nacheinander wurden alle 50 Signalwörter auf dem Computerbildschirm dargestellt. Sie erschienen für jeweils 4 Sekunden, in denen die Probanden versuchen sollten, sich an das jeweilige Zielwort zu erinnern, unabhängig davon ob das dazugehörige Signalwort zuvor rot oder grün markiert war. Nach einer Pause von 600ms folgte dann das nächste Signalwort. Eine weitere Motivation gab es in Form eines zusätzlichen Geldgewinns von 12,5 Cent für jedes richtig benannte Zielwort, um sicherzustellen, dass sich die Probanden bemühen, auf alle Signalwörter zu antworten.

#### 4.4 Polysomnographie

Die Schlafprofile der jeweiligen Probanden wurden polysomnographisch abgeleitet und nach den standardisierten Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) von zwei unabhängigen Personen ausgewertet.

Visuell werden 30-Sekunden-Abschnitte ausgewertet (gescoret) und den jeweiligen Schlafstadien zugeordnet. Anschließend kann somit beurteilt werden, ob die Probanden einen ausreichend tiefen Schlaf mit einer normalen Schlafarchitektur haben. Die EEG-Elektroden werden auf die zuvor desinfizierte und angeraute Kopfhaut mit einem leitenden Elektrodengel (EC2-Elektroden-Creme® von der Firma Grass) aufgeklebt, so dass ein möglichst geringer elektrischer Widerstand zwischen Elektroden und Kopfhaut besteht ( $<5\text{k}\Omega$ ). Insgesamt werden acht Elektroden in einer standardisierten Form am Kopf des jeweiligen Probanden platziert (siehe Abbildung 8).



**Abbildung 8: Elektrodenpositionen für die standardisierte Polysomnographie**

Die beiden EEG-Elektroden werden an den definierten Plätzen C3 und C4, nach dem 10-20 System (Jasper, 1958), an der Schädeloberfläche platziert, um die kortikale elektrische Aktivität abzuleiten. Die benötigte Referenzelektrode wird an der Nase befestigt. Die Elektroden für die bipolare EOG-Ableitung werden für die diagonalen Augenbewegungen (EOG) zum einen unterhalb des rechten Auges und zum anderen oberhalb des linken Auges am Orbitalrand befestigt. Für die Muskeltonusmessung werden zwei weitere Elektroden am Kinn befestigt, und eine letzte Elektrode auf der Stirn dient zur Erdung.

#### **4.5 Fragebögen zur Schläfrigkeit, Abruffunktion und Schlafqualität**

Die Stanford Schläfrigkeitsskala (kurz: SSS) dient zur subjektiven Erfassung der augenblicklichen Schläfrigkeit. Anhand einer 7-stufigen Skala, von „Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach“ bis „Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen; habe traumähnliche Gedanken“ konnten die Probanden ihre aktuelle Verfassung angeben.

Zur weiteren Testung der Aufmerksamkeit und der aktuellen Abruffunktion wurden vier verschiedene Varianten des Regensburger Wortflüssigkeitstests (kurz: RWT, von Aschenbrenner et al., 2000) durchgeführt. Hierbei wurde der Abruf aus dem semantischen Gedächtnis getestet, um mögliche Probleme bei der Abruffunktion frühzeitig zu entdecken. Innerhalb von zwei Minuten versuchten die Probanden möglichst viele Wörter, die die vorgegebenen Kriterien erfüllten, aufzuschreiben. Im ersten Regensburger Wortflüssigkeitstest wurden beispielsweise Nomen mit dem Anfangsbuchstaben „P“ abgefragt, und im letzten Test mussten Sportarten und Früchte im Wechsel aufgeschrieben werden.

Zur subjektiven Bewertung der Nacht wurde sowohl nach der Experimentnacht, als auch nach der Eingewöhnungsnacht der Schlaffragebogen-A (kurz: SF-A) ausgefüllt. Neben der Schlafqualität erfasste er unter anderem die gefühlte Einschlafdauer, die Häufigkeit des Erwachens und die aktuelle körperliche Verfassung.

Die Stanford Schläfrigkeitsskala, die vier Regensburger Wortflüssigkeitstests sowie der Schlaffragebogen-A sind dem Anhang beigelegt.

#### 4.6 Statistische Auswertung

Die gewonnenen Daten wurden erfasst und anschließend unter Zuhilfenahme des Statistikprogrammes SPSS (Statistical Product and Service Solution) für Windows, Version 11.0®, statistisch ausgewertet. Mittels Varianzanalysen (ANOVA = Analysis of variance) wurden die beiden Probandengruppen miteinander verglichen. Für die Hauptanalyse wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit den folgenden Faktoren durchgeführt: Dem Zwischen-Subjekt-Faktor Schlaf/Wach und den beiden Inner-Subjekt-Faktoren Response/Suppression und Repetition (Anzahl der Wiederholungen).

Bei signifikanten Ergebnissen wurden anschließend Post-hoc Analysen durchgeführt. Dabei kamen 2-faktorielle und 1-faktorielle Varianzanalysen und T-Tests zum Einsatz. Die Stanford Schläfrigkeitsskala und der Regensburger Wortflüssigkeitstest wurden mittels T-Tests ausgewertet.

Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeitsaussagen wurde ein nach Greenhouse-Geisser korrigierter p-Wert von  $<0,05$  als signifikant festgelegt ( $p \leq 0,05$  = signifikant;  $p > 0,05$  = nicht signifikant). Alle Werte sind als Mittelwerte +/- Standardfehler (kurz: SEM) angegeben.

Es wurden die Daten von insgesamt 32 Probanden ausgewertet. Sieben von ihnen mussten von der Datenanalyse ausgeschlossen werden, da sie starke Probleme mit der Aufgabenstellung hatten. Anhand des ausgeteilten Strategiefragebogens wurde ersichtlich, dass sie es nicht geschafft haben, bei den jeweils roten Signalwörtern die Erinnerung an das dazugehörige Zielwort zu unterdrücken, so dass insgesamt noch zwölf Probanden der Schlaf- und 13 Probanden der Wachgruppe in die statistische Auswertung eingingen.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Schlaf – Polysomnographische Aufzeichnung

Wie in Tabelle 3 dargestellt, weisen die Probanden der Schlafgruppe einen normalen, nächtlichen Schlaf auf. Sie zeigen sowohl genügend Tiefschlaf ( $19,83\% \pm 1,57$ ) als auch genügend REM-Schlaf ( $18,23\% \pm 1,07$ ), um von einem ausreichend tiefen und normalen Schlaf zu sprechen, welcher für die vorliegende Arbeit von Bedeutung ist.

**Tabelle 3: Anteile der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafdauer. Angaben in Minuten und Prozent der Gesamtschlafdauer  $\pm$  SEM**

<b>Schlafphasen während des 7-stündigen Retentionsintervalls</b>	
Gesamtschlafdauer, min.	$405,29 \pm 4,22$
Einschlafzeit, min.	$22,17 \pm 3,85$
Wachphase, min. (%)	$8,17 \pm 2,82$ ( $2,02 \pm 0,68$ )
Stadium I, min. (%)	$14,71 \pm 3,32$ ( $3,63 \pm 0,83$ )
Stadium II, min. (%)	$223,75 \pm 5,48$ ( $55,25 \pm 1,39$ )
SWS (Stadium III, IV), min. (%)	$80,58 \pm 6,68$ ( $19,83 \pm 1,57$ )
REM Schlaf, min. (%)	$74,0 \pm 4,39$ ( $18,23 \pm 1,07$ )

## 5.2 Think/No-Think Aufgabe

### 5.2.1 Ergebnisse des Lernens

Das initiale Wortpaarlernen der Schlaf- und der Wachgruppe zeigt keinen signifikanten Unterschied. Beide Gruppen sind mit etwa 30 richtigen von insgesamt 50 Wortpaaren in die Think/No-Think Phase gegangen (Schlaf:  $31,58 \pm 1,50$ , Wach:  $29,00 \pm 0,92$ ,  $p=0,150$ ). Bei der Ermittlung dieser Werte zählt nur derjenige Versuch, der schließlich zum Erreichen des Kriteriums geführt hat. Ein signifikanter Unterschied besteht allerdings zwischen der Anzahl der benötigten Durchgänge, um das Kriterium von 50% zu erreichen. Die Schlafgruppe benötigte signifikant weniger Versuche als die Wach-Kontrollgruppe (Schlaf:  $1,83 \pm 0,24$ , Wach:  $2,46 \pm 0,18$ ,  $p<0,05$ ; siehe Tabelle 4).

**Tabelle 4: Ergebnisse vom Wortpaarlernen. Mittelwerte  $\pm$  SEM**

	Schlaf	Wach	T	p
Richtige Wortpaare	$31,58 \pm 1,50$	$29,00 \pm 0,92$	1,487	0,150
Durchgänge	$1,83 \pm 0,24$	$2,46 \pm 0,18$	-2,096	<b>0,047</b>

### 5.2.2 Ergebnisse des Abrufs

Die Ergebnisse des Abrufs nach dem 7-stündigen Retentionsintervall sind in Tabelle 5 und Abbildung 9 dargestellt.

**Tabelle 5: Ergebnisse des Abrufs. Angaben in Prozent  $\pm$  SEM**

Wiederholungen	Schlaf		Wach	
	Response	Suppression	Response	Suppression
0 (Baseline)	$65,83 \pm 4,99$	$65,83 \pm 4,99$	$49,23 \pm 5,82$	$49,23 \pm 5,82$
1	$76,67 \pm 4,82$	$65,83 \pm 4,99$	$64,62 \pm 5,62$	$64,62 \pm 5,14$
8	$80,00 \pm 7,78$	$58,33 \pm 8,33$	$76,92 \pm 5,93$	$53,85 \pm 7,97$
16	$88,33 \pm 4,58$	$63,33 \pm 9,48$	$78,46 \pm 4,78$	$56,92 \pm 9,57$

### 5.2.2.1 Baseline-Vergleich der Schlaf- und Wachgruppe

Die Baseline-Wörter sind die Wörter die während der Think/No-Think Phase nicht gezeigt werden und somit das Maß des normalen Vergessens darstellen (entspricht 0 Wiederholungen). Beim Vergleich dieser Items zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Bedingungen. Die Schlafgruppe erinnert signifikant mehr richtige Wortpaare als die Wach-Kontrollgruppe (Schlaf: 65,83%  $\pm$  4,99, Wach: 49,23%  $\pm$  5,82,  $p < 0,05$ , siehe Tabelle 6) und zeigt somit einen besseren Gedächtnisabruf.

**Tabelle 6: Baseline-Vergleich der Schlaf- und Wachgruppe. Angaben in Prozent  $\pm$  SEM**

	Schlaf	Wach	T	p
Baseline (0 Wiederholungen)	65,83 $\pm$ 4,99	49,23 $\pm$ 5,82	2,147	<b>0,043</b>

### 5.2.2.2 Effekt der Unterdrückung (Response vs. Suppression Pairs)

Die Response Pairs sind diejenigen Wortpaare, bei denen die Probanden versuchen sich aktiv an das jeweilige Zielwort zu erinnern. Diese Wortpaare werden mit den Suppression Pairs verglichen, bei denen die Probanden wiederum versuchen, das jeweilige Zielwort zu verdrängen.

Unabhängig von den Schlaf-/Wachbedingungen ist der Unterschied zwischen dem Abruf von den Response Pairs und Suppression Pairs hoch signifikant (Haupteffekt Response/Suppression:  $p < 0,01$ ; siehe Tabelle 7). Die Response Pairs werden deutlich besser als die Suppression Pairs erinnert. Dieser Effekt ist auch bei separater Betrachtung der Bedingungen vorhanden. Sowohl für die Schlafgruppe als auch für die Wach-Kontrollgruppe finden sich hoch signifikante, bzw. signifikante Unterschiede.

**Tabelle 7: Vergleich Response und Suppression Pairs. Angaben in Prozent  $\pm$  SEM**

	Response	Suppression	F	p
Gemeinsam	72,51 $\pm$ 2,20	59,85 $\pm$ 3,53	17,697	<b>0,000</b>
Schlafgruppe	77,71 $\pm$ 3,50	63,54 $\pm$ 5,06	10,850	<b>0,007</b>
Wach-Kontrollgruppe	67,31 $\pm$ 2,72	56,15 $\pm$ 4,91	7,038	<b>0,021</b>

**Gemeinsame und separate Betrachtung der Schlaf- und Wachgruppe  
(die Werte ergeben sich aus den Mittelwerten  $\pm$  SEM von 0, 1, 8 und 16 Wiederholungen)**

In Tabelle 8 werden die Unterschiede bezüglich der Reaktion auf die verschiedenen Aufgabenstellungen (Response/Suppression) zwischen der Schlaf- und der Wachgruppe dargestellt. Bei alleiniger Betrachtung der Response Pairs zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,657$ ) zwischen beiden Gruppen, ebenso wie für die Suppression Pairs ( $p=0,691$ ). Sowohl die Schlaf- als auch die Wachgruppe reagieren in gleicher Weise auf die Response und Suppression Aufgabenstellung. Es zeigt sich bei der 2-faktoriellen Varianzanalyse keine signifikante Interaktion für die Schlaf- und Wachgruppe in Bezug auf die Response und Suppression Pairs ( $p=0,621$ ).

Entgegen unserer Hypothese, dass eine ganze Nacht Schlaf dem Verdrängen entgegenwirkt, unterscheiden sich die Schlaf- und die Wachgruppe hinsichtlich des Verdrängungseffektes nicht.

**Tabelle 8: Vergleich Schlaf- und Wachgruppe. Angaben in Prozent  $\pm$  SEM**

	<b>Schlaf</b>	<b>Wach</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Response	77,71 $\pm$ 3,50	67,31 $\pm$ 2,72	0,540	0,657
Suppression	63,54 $\pm$ 5,06	56,15 $\pm$ 4,91	0,489	0,691

**Separate Betrachtung der Schlaf- und Wachgruppe  
(die Werte ergeben sich aus den Mittelwerten  $\pm$  SEM von 0, 1, 8 und 16 Wiederholungen)**

### 5.2.2.3 Wiederholungseffekt

Der Wiederholungseffekt bezeichnet den Einfluss des wiederholten Übens auf das spätere Erinnern des jeweiligen Zielwortes. Dieser Effekt ist bei gemeinsamer Betrachtung der Bedingungen (Response/Suppression) und gemeinsamer Betrachtung der Schlaf- und Wachgruppe signifikant (Haupteffekt Wiederholung:  $p=0,022$ ). Das wiederholte Zeigen eines Signalwortes hat also einen positiven Effekt auf den späteren Gedächtnisabruf des jeweiligen Zielwortes.

Der Wiederholungseffekt ist jedoch für die Response und Suppression Pairs unterschiedlich ausgeprägt (Interaktion Wiederholung x Response/Suppression:  $p=0,003$ ). Ein signifikanter Wiederholungseffekt ist nur für die Response Pairs zu beobachten ( $p<0,001$ ), nicht jedoch für die Suppression Pairs ( $p=0,367$ ). Diese werden durch das wiederholte Verdrängen des jeweiligen Zielwortes weder positiv noch negativ beeinflusst. Bei separater Betrachtung der Schlaf- und der Wachgruppe ist ein signifikanter Wiederholungseffekt nur für die Wachgruppe ( $p=0,046$ ), nicht jedoch für die Schlafgruppe ( $p=0,421$ ) zu finden. Bei zusätzlich separater Betrachtung der Aufgabenstellung zeigt die Wachgruppe nur für die Response Pairs einen signifikanten Wiederholungseffekt ( $p=0,010$ ). Die Suppression Pairs werden durch das wiederholte Verdrängen nicht signifikant beeinflusst ( $p=0,289$ ). Für die Schlafgruppe ist bei den Response Pairs lediglich eine Tendenz für einen positiven Wiederholungseffekt ( $p=0,071$ ) erkennbar. Die Suppression Pairs werden erneut durch das wiederholte Verdrängen nicht beeinflusst.

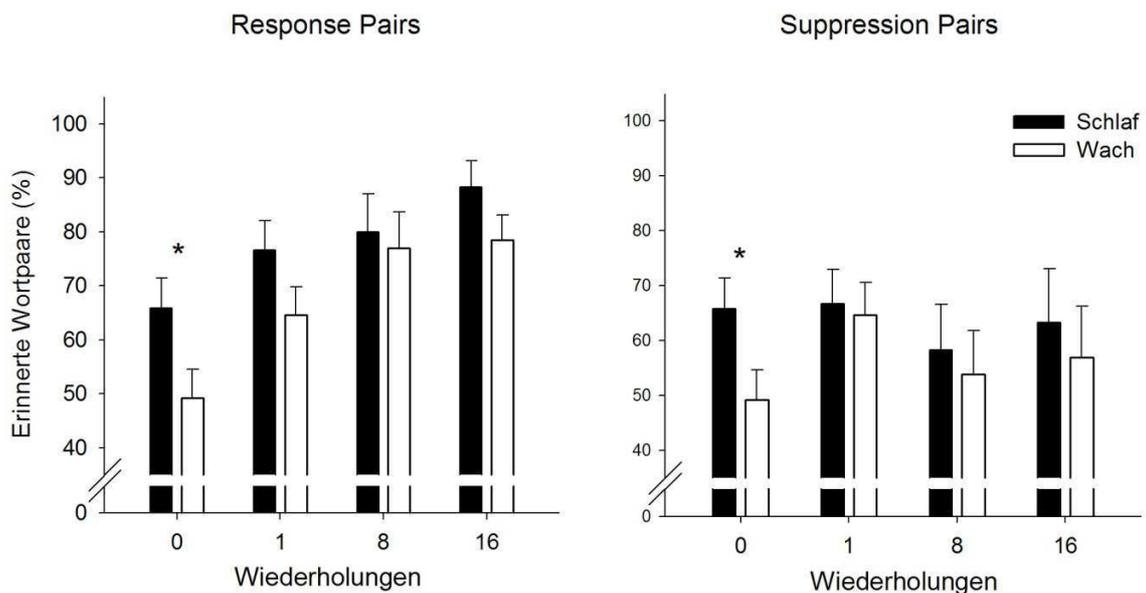


Abbildung 9: Abruf der Schlaf- und Wachgruppe

#### 5.2.2.4 Baseline-Vergleich

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 und 9 dargestellt. Der Baseline-Wert entsteht aus denjenigen Wortpaaren, die in der Think/No-Think Phase nicht gezeigt werden, also 0-mal wiederholt werden. In Tabelle 6 wurde bereits kurz auf den Haupteffekt des Baseline-Vergleichs eingegangen. Beide Gruppen (Schlaf- und Wachgruppe) zeigen einen signifikanten Unterschied bzgl. des Gedächtnisabrufes nach dem 7-stündigen Retentionsintervall. Die Schlafgruppe erinnert signifikant mehr Wortpaare als die Wach-Kontrollgruppe und zeigt somit einen besseren Gedächtnisabruf.

In Tabelle 9 wird der jeweilige Baseline-Wert der Schlaf- und der Wachgruppe mit den Abfrageergebnissen nach 1, 8 und 16 Wiederholungen, für die Response und Suppression Pairs, verglichen. Eine separate Beurteilung aller Abfrageergebnisse bzgl. einer signifikanten Änderung gegenüber dem Baseline-Wert wird so möglich.

##### Ergebnisse der Schlafgruppe

Der Baseline-Vergleich der Response und Suppression Pairs zeigt für die Response Pairs nur bei 16 Wiederholungen einen signifikant besseren Gedächtnisabruf ( $p=0,007$ ). Bei 1 und 8 Wiederholungen zeichnet sich eine positive Tendenz ab (1 Wiederholung:  $p=0,084$ ; 8 Wiederholungen:  $p=0,090$ ).

Für die Suppression Pairs ist hingegen kein signifikanter Effekt zu erkennen. Sie werden weder besser noch schlechter als die Baseline-Wörter erinnert. Das Verdrängen der Zielwörter übt demzufolge keinen Effekt auf den späteren Abruf im Vergleich zu den Baseline-Wörtern aus.

##### Ergebnisse der Wachgruppe

Der Baseline-Vergleich der Response und Suppression Pairs zeigt für die Response Pairs bei 8 und 16 Wiederholungen einen signifikanten Effekt (8 Wiederholungen:  $p=0,013$ , 16 Wiederholungen:  $p<0,001$ ) und bei nur 1 Wiederholung zeichnet sich diese Tendenz ( $p=0,086$ ) bereits ab. Die Response Pairs werden folglich besser als die Baseline-Wörter erinnert. Dieser deutliche Effekt ist bei den Suppression Pairs nicht zu erkennen. Bei nur 1 Wiederholung zeichnet sich eine Tendenz zum verbesserten Gedächtnisabruf ab ( $p=0,054$ ), jedoch bleibt ein solcher Effekt bei 8 ( $p=0,641$ ) und 16 Wiederholungen ( $p=0,406$ ) aus. Das Verdrängen der Zielwörter übt auch bei der Wachgruppe keinen Effekt auf den späteren Abruf im Vergleich zu den Baseline-Wörtern aus.

**Tabelle 9: Baseline-Vergleich. Angaben in Prozent  $\pm$  SEM**

Wiederholungen	Schlaf					
	Response			Suppression		
	MW $\pm$ SEM	T	p	MW $\pm$ SEM	T	p
1	10,83 $\pm$ 5,70	1,900	0,084	0,83 $\pm$ 6,79	0,123	0,905
8	14,17 $\pm$ 7,63	1,856	0,090	-7,50 $\pm$ 8,08	-0,928	0,373
16	22,50 $\pm$ 6,76	3,330	<b>0,007</b>	-2,50 $\pm$ 9,70	-0,258	0,801

Wiederholungen	Wach					
	Response			Suppression		
	MW $\pm$ SEM	T	P	MW $\pm$ SEM	T	p
1	15,38 $\pm$ 8,21	1,873	0,086	15,38 $\pm$ 7,22	2,132	0,054
8	27,69 $\pm$ 9,48	2,920	<b>0,013</b>	4,62 $\pm$ 9,65	0,478	0,641
16	29,23 $\pm$ 6,04	4,839	<b>0,000</b>	7,69 $\pm$ 8,93	0,862	0,406

**Baseline-Vergleich (die Werte ergeben sich aus der Differenz zwischen dem Baseline-Wert und dem jeweiligen Ergebnis aus Tabelle 5)**

**Baseline-Wert:**

**Bedingung Schlaf: 65,83  $\pm$  4,99**

**Bedingung Wach: 49,23  $\pm$  5,82**

### 5.3 Stanford Schläfrigkeitsskala / Regensburger Wortflüssigkeitstests

#### 5.3.1 Stanford Schläfrigkeitsskala

Beim Vergleich beider Gruppen bezüglich der Schläfrigkeit ist kein signifikanter Unterschied zu finden (siehe Tabelle 10). Sowohl vor dem Lernen der Wortpaare, als auch nach dem Retentionsintervall, geben die Probanden der Schlaf- und der Wachgruppe einen vergleichbaren Wert auf der Stanford Schläfrigkeitsskala an. Sie zeigen keinen signifikanten Unterschied.

**Tabelle 10: Stanford Schläfrigkeitsskala. Vergleich zwischen Schlaf- und Wachgruppe. Angaben  $\pm$  SEM**

	Schlaf	Wach	T	p
Lernen	2,67 $\pm$ 0,19	2,31 $\pm$ 0,21	1,272	0,216
Abruf	2,50 $\pm$ 0,19	2,00 $\pm$ 0,30	1,374	0,183

Auch zwischen den Abfragezeitpunkten ist kein signifikanter Unterschied festzustellen. Sowohl vor der Lernphase, als auch nach dem Abruf, zeigt sich weder in der Schlafgruppe noch in der Wach-Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied (siehe Tabelle 11)

**Tabelle 11: Stanford Schläfrigkeitsskala. Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten. Angaben  $\pm$  SEM**

	Lernen	Abruf	T	p
Schlaf	2,67 $\pm$ 0,19	2,50 $\pm$ 0,19	0,804	0,438
Wach	2,31 $\pm$ 0,21	2,00 $\pm$ 0,30	1,000	0,337

### 5.3.2 Regensburger Wortflüssigkeitstest

Die gemeinsame Auswertung aller vier Regensburger Wortflüssigkeitstests zeigt zum Teil signifikante Unterschiede.

Beim Vergleich zwischen den Zeitpunkten der Aufmerksamkeitstestung mittels Regensburger Wortflüssigkeitstest findet sich ein hoch signifikanter Unterschied in der Wachgruppe (siehe Tabelle 12). Zum Zeitpunkt der Lernphase können die Probanden der Wachgruppe signifikant weniger Wörter aus ihrem semantischen Gedächtnis abrufen als zum Zeitpunkt der Abfrage (Lernen:  $17,48 \pm 1,15$ , Abruf:  $20,42 \pm 1,01$ ,  $p < 0,001$ ).

**Tabelle 12: Regensburger Wortflüssigkeitstest. Vergleich zwischen den Abfragezeitpunkten. Angaben  $\pm$  SEM**

	Lernen	Abruf	T	p
Schlaf	$20,40 \pm 0,98$	$20,94 \pm 0,93$	-0,812	0,434
Wach	$17,48 \pm 1,15$	$20,42 \pm 1,01$	-5,018	<b>0,000</b>

Beim Vergleich zwischen der Schlaf- und Wachgruppe zeigt sich hingegen weder vor der Lernphase noch nach dem Abruf ein signifikanter Unterschied (siehe Tabelle 13). Vor der Lernphase deutet sich allerdings eine leichte Tendenz für eine bessere Aufmerksamkeit, bzw. Abruffunktion der Schlafgruppe an (Schlaf:  $20,40 \pm 0,98$ , Wach:  $17,48 \pm 1,15$ ,  $p = 0,068$ ).

**Tabelle 13: Regensburger Wortflüssigkeitstest. Vergleich zwischen Schlaf- und Wachgruppe. Angaben  $\pm$  SEM**

	Schlaf	Wach	T	p
Lernen	$20,40 \pm 0,98$	$17,48 \pm 1,15$	1,912	0,068
Abruf	$20,94 \pm 0,93$	$20,42 \pm 1,01$	0,372	0,713

## 6 Diskussion

Mit der vorliegenden Studie wurde der Effekt einer ganzen Nacht Schlaf auf die Verdrängung zuvor gelernter Gedächtnisinhalte untersucht und ob das wiederholte Verdrängen einen möglichen Effekt auf den Gedächtnisabruf noch verstärkt. Aus der vorherigen Studie von Fischer und Kollegen (unveröffentlichte Daten) ging bereits hervor, dass die zweite REM-Schlaf dominante Nachthälfte, im Gegensatz zur SWS dominanten Nachthälfte, dem Verdrängen entgegen zu wirken schien. In dieser Studie sollte daraufhin der Effekt beider Schlafphasen im direkten Zusammenhang untersucht werden. Die Ergebnisse der Schlafprobanden wurden mit Probanden verglichen, die in einem vergleichbaren Retentionsintervall von sieben Stunden wach blieben.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine ganze Nacht Schlaf dem Verdrängen nicht entgegenwirkt. Die Probanden der Schlafgruppe weisen ein ähnliches Abrufmuster wie die Probanden der Wach-Kontrollgruppe auf. Auch das wiederholte Verdrängen führt zu keinem signifikanten Effekt, welcher den Gedächtnisabruf positiv beeinflusst.

Insgesamt zeigt diese Arbeit den positiven Einfluss von Schlaf auf das deklarative Gedächtnis (Ekstrand, 1967; Plihal und Born, 1997; Stickgold, 2005; Diekelmann und Born, 2010). Die Probanden, die während ihres 7-stündigen Retentionsintervalls geschlafen haben, zeigen im Vergleich zu der Wachgruppe einen signifikant besseren Abruf. Dieses verdeutlicht insbesondere der Baseline-Vergleich. Die Baseline-Wörter werden während der Think/No-Think Phase nicht gezeigt, so dass sie weder durch das wiederholte Üben noch durch das wiederholte Verdrängen beeinflusst werden. Sie stellen somit das Maß des normalen Vergessens dar.

Der positive Einfluss von Schlaf auf das Lernen deklarativer Gedächtnisaufgaben kann durch die verdeckte Reaktivierung im Schlaf erklärt werden. Peigneux et al. (2004) konnten mittels PET-Untersuchungen eine Reaktivierung derjenigen hippocampalen Erregungsmuster im Schlaf nachweisen, die auch während der Enkodierungsphase im Wachzustand gefunden wurden. Sie begründeten somit den fördernden Einfluss von Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung. Die Reaktivierung zeichnet sich durch ein sogenanntes *sharp wave/ripple* Erregungsmuster aus (Buzsaki, 1998), welches als Stimulus für den Transfer über den Hippocampus in das neocortikale Netzwerk gesehen wird. Dieses Muster korreliert dabei in der Häufigkeit und Dauer seines Auftretens mit der zuvor stattgefundenen Lernaufgabe, so dass es nach deklarativen Aufgaben besonders im Hippocampus während des SWS beobachtet werden kann (Eschenko et al., 2008).

Des Weiteren zeigt diese Arbeit den bereits von Anderson und Green (2001) beschriebenen Effekt der Response Pairs gegenüber den Baseline-Wörtern. Die Response Pairs werden signifikant besser erinnert als die Baseline-Wörter, und auch das wiederholte Üben hat einen zunehmend positiven Effekt auf den späteren Abruf. Ein signifikanter Verdrängungseffekt der Suppression Pairs kann allerdings nicht belegt werden. Sie werden zwar signifikant schlechter erinnert als die Response Pairs, jedoch ist gegenüber den Baseline-Wörtern kein signifikanter Unterschied festzustellen. Diesbezüglich zeigt sich auch kein Unterschied zwischen der Schlaf- und der Wachgruppe. Beide reagieren in ähnlicher Weise auf die jeweilige Aufgabenstellung. Die Schlafprobanden zeigen im Vergleich zu den Wachprobanden keinen signifikanten Unterschied im späteren Effekt auf die Response und Suppression Aufgabenstellung. Schlaf, mit normalen Anteilen an SWS und REM-Schlaf, fördert den Abruf der zu verdrängenden Zielwörter nicht. Die aufgestellte Hypothese, dass auch eine ganze Nacht Schlaf dem Verdrängen entgegenwirkt, konnte in dieser Studie nicht belegt werden.

Es gibt mehrere Erklärungsansätze, warum der erwartete Effekt von Schlaf nicht gezeigt werden konnte. Zunächst deutet der schlechtere Gedächtnisabruf der Suppression Pairs gegenüber den Response Pairs darauf hin, dass es den von Anderson und Green (2001) beschriebenen aktiven Prozess des Verdrängens tatsächlich gibt. Eine innere Kontrollfunktion verhindert aktiv das Bewusstwerden einer ungewollten Erinnerung. Dieses konnten sie schließlich auch mit funktionellen MRT-Untersuchungen nachweisen, indem sie diejenigen Hirnregionen ausfindig machten, die bei dem Prozess der Verdrängung mitwirken (Anderson et al., 2004). Sie fanden während der Suppressionsbedingung eine erhöhte Aktivität im präfrontalen Cortex und eine verminderte Aktivität im Hippocampus und folgerten daraus, dass der präfrontale Cortex als eine Art obere Handlungskontrolle den Hippocampus in seiner Funktion blockieren und eine Gedächtnisverdrängung bewirken kann.

In der vorliegenden Studie ist allerdings weder für die Schlafgruppe noch für die Wachgruppe ein Suppressionseffekt zu erkennen. Dieses hat zu der Überlegung geführt, ob das verwendete Versuchsdesign noch eventuelle Schwächen aufzeigt und einen Verdrängungseffekt gar nicht nachweisen kann. Mehrere Forschergruppen haben ebenfalls versucht die Ergebnisse von Anderson und Green zu replizieren und sind dabei auch bei absoluter Einhaltung der Versuchsbedingungen gescheitert (Hertel und Gerstle, 2003; Bulevich et al., 2006).

Bulevich und Kollegen konnten in ihrer Studie, in der sie neben der Originalversion von Anderson und Green auch Versionen mit leicht veränderten Bedingungen verwendeten, ebenfalls keinen bedeutsamen Verdrängungseffekt nachweisen. Sie zeigten zwar einen signifikant besseren Abruf der Response Pairs gegenüber den Suppression Pairs, jedoch blieb der Vergleich der Suppression Pairs mit den Baseline-Wörtern ohne Signifikanz.

Bezüglich der Verdrängung bleibt allerdings immer noch der Effekt, dass die Suppression Pairs signifikant schlechter als die Response Pairs erinnert werden. Denn vielfach ist nicht beachtet worden, dass die Baseline-Wörter während der Think/No-Think Phase gar nicht mehr gezeigt werden, ganz im Gegensatz zu den Suppression Pairs. Einige Signalwörter werden bis zu 16-mal präsentiert. Die Think/No-Think Phase ist eine etwa 25-minütige anstrengende Aufgabe, während der die Probanden immer aufmerksam bleiben müssen. Hierbei ist es durchaus verständlich, dass es bei 16 Wiederholungen mehrerer rot markierter Signalwörter einigen Versuchsteilnehmern zunehmend schwerer gefallen ist, das dazugehörige Zielwort zu verdrängen. Am Ende des Versuches haben sie einen Strategiefragebogen ausgefüllt. Dieser hat schließlich gezeigt, dass die Aufgabenstellung nicht immer zu 100 Prozent befolgt worden ist. Einige Probanden haben angegeben, dass sie es nicht immer geschafft haben, bei den jeweiligen rot markierten Signalwörtern nicht an das dazugehörige Zielwort zu denken. Da diese Probanden nicht in die statistische Auswertung mit eingegangen sind, ist dieser Effekt verhältnismäßig klein.

Vielleicht wäre es in diesem Zusammenhang besser gewesen, auch die Baseline-Wörter während der Think/No-Think Phase in der bekannten weißen Schrift aus der Lernphase zu zeigen. Den Probanden könnte die einfache Aufgabenstellung erteilt werden, das jeweilige Baseline-Wort zu lesen, um dann zum Beispiel eine Taste zu drücken, damit das Wort schnell wieder vom Bildschirm verschwindet. So bleibt weder genügend Zeit, um über das dazugehörige Zielwort nachzudenken, noch um es zu verdrängen. Durch diese Abwandlung könnte sich ein eventuell doch stärker ausgeprägter Verdrängungseffekt der rot markierten Signalwörter zeigen, da auch in dieser Studie sich zumindest in der Schlafbedingung ein Verdrängungseffekt andeutet. Dieser bleibt allerdings ohne Signifikanz.

Des Weiteren müsste auch geklärt werden, ob eventuelle zirkadiane Einflüsse eine Rolle spielen, da die Probanden zu zwei ganz verschiedenen Zeitpunkten mit dem Versuch begonnen haben. Bezüglich der Enkodierung zeigt sich schließlich auch ein signifikanter

Unterschied zwischen beiden Versuchsgruppen. Im Vergleich zu den Wachprobanden, die morgens um 8:00 Uhr die Wortpaare gelernt haben, ist es den Probanden der Schlafgruppe abends um 21:30 Uhr leichter gefallen die Wortpaare zu lernen, da sie signifikant weniger Lerndurchgänge benötigt haben.

Um dieses Problem zu umgehen, könnte an Stelle der Wach-Kontrollgruppe eine Schlaf-Kontrollgruppe treten. Diese würde nach der Think/No-Think Phase während der darauf folgenden Nacht wach bleiben müssen. Um den dadurch entstandenen Stress und die damit verbundene erhöhte Cortisolausschüttung zu kompensieren, müsste der Versuchsnacht der Schlaf-Kontrollgruppe noch eine zweite Erholungsnacht folgen. Plihal und Born (1999b) zeigten diesbezüglich, dass ein erhöhter Cortisolspiegel das deklarative Gedächtnis negativ beeinflusst.

Ein weiterer Faktor, der zudem noch beachtet werden müsste, ist die unterschiedliche Anzahl benötigter Lerndurchgänge, um das Kriterium von 50% zu erreichen. Probanden, die insgesamt drei Durchgänge benötigt haben, um genügend Wortpaare zu erinnern, haben somit alle Wortpaare bereits 3-mal gelernt. Jeder Proband konnte sich individuell einzelne Wortpaare besonders gut merken, so dass gerade nach der dreimaligen Wiederholung dieser Wortpaare die Verdrängung besonders schwer fallen würde. Hier könnte die Versuchsgruppe insgesamt noch vergrößert werden. Eine separate Auswertung aller drei Gruppen mit je einem, zwei oder drei Lerndurchgängen wäre so möglich und könnte eventuelle Unterschiede zum Vorschein bringen.

Eine zusätzliche Veränderung im Versuchsaufbau, die zu aussagekräftigeren Ergebnissen führen könnte, ist bereits von Depue und seinen Kollegen (2007) angeregt worden. Sie zeigten, dass emotional belastende Bilder, zum Beispiel von einem Unfall, den Verdrängungseffekt noch verstärken. Dieser emotionale Aspekt wurde schließlich auch von Freud (1895) in seiner ursprünglichen Definition der Verdrängung erwähnt. Auf die besondere Rolle des REM-Schlafes bei der Konsolidierung emotionaler Gedächtnisinhalte wird im zweiten Teil der Diskussion noch eingegangen.

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse dieser Arbeit gemeinsam mit den Erkenntnissen aus der Studie von Fischer und Kollegen (unveröffentlichte Daten) betrachtet und diskutiert<sup>6</sup>.

Sie konnten bei separater Betrachtung beider Nachthälften einen eindrucklichen Effekt der zweiten REM-Schlaf dominanten Nachthälfte auf den Verdrängungseffekt zeigen (siehe

---

<sup>6</sup> Zur Studie von Fischer und Kollegen siehe auch: 2.5 „Schlaf und Verdrängung“

auch Abbildung 7). Zunächst zeigte die Studie, dass die Probandengruppe, die während der ersten Nachthälfte schlafen durfte und somit einen größeren Anteil an SWS hatte, mehr Wortpaare richtig erinnerte als die Gruppe, die während der REM-Schlaf dominanten zweiten Nachthälfte schlief. Dieser Effekt lässt sich durch die unterschiedliche Beeinflussung des deklarativen Gedächtnisses durch die verschiedenen Schlafphasen erklären, da bekanntermaßen das deklarative Gedächtnis im Gegensatz zum prozeduralen Gedächtnis von der SWS dominanten Schlafphase besonders profitiert.

Bei der separaten Analyse der Response und Suppression Aufgabenstellung für die unterschiedliche Anzahl an Wiederholungen wurde deutlich, dass Schlaf im Gegensatz zum Wachintervall den Abruf unterschiedlich beeinflusste. Für die beiden Wach- und für die frühe Schlafgruppe zeigte sich hierbei das erwartete Muster, welches auch schon in der Studie von Anderson und Green (2001) beobachtet wurde. Mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen verbesserte sich der Abruf der Response Pairs gegenüber den Baseline-Wörtern. Der Abruf der Suppression Pairs war hingegen signifikant schlechter als der der Response Pairs. Interessanterweise zeigte sich jedoch im späten Schlaf-Retentionsintervall ein gegensätzliches Muster, so dass zwar weiterhin die Response Pairs durch die steigende Anzahl an Wiederholungen besser erinnert wurden, jedoch wurden auch die Suppression Pairs durch die zunehmende Anzahl an Wiederholungen positiv beeinflusst. Die REM-Schlaf dominante Nachthälfte schien also dem Verdrängen entgegen zu wirken und den Abruf der Gedächtnisinhalte, die eigentlich verdrängt werden sollten, wieder zugänglicher zu machen.

Auf Grund dieser Ergebnisse haben wir nun erwartet, dass eine ganze Nacht Schlaf mit sowohl hohen Anteilen an REM-Schlaf als auch hohen Anteilen an SWS den gleichen Effekt ausüben würde wie die alleinige REM-Schlaf dominante Nachthälfte. Diese Hypothese konnte allerdings nicht belegt werden, so dass sich nun die Frage nach der differenziellen Beeinflussung der Verdrängung durch die REM-Schlaf und die SWS dominante Nachthälfte stellt.

Da eine ganze Nacht Schlaf mit ausreichend SWS und REM-Schlaf dem Verdrängen nicht entgegenwirkt, könnte zum einen der vor dem REM-Schlaf ablaufende SWS zu einer Sicherung der ablaufenden Kontrollfunktion führen. Die Mechanismen, die eine Verdrängung zuvor gelernter Gedächtnisinhalte bewirken, könnten durch den SWS bereits so gefestigt worden sein, dass der fördernde Einfluss des REM-Schlafes gar nicht mehr zum Vorschein kommen kann. Das bewusste Verdrängen von Wortpaaren wird dem

deklarativen Gedächtnis zugerechnet, welches besonders durch den SWS gefördert wird. Somit ist es wahrscheinlich, dass die Mechanismen der Verdrängung während dem SWS ablaufen und durch den darauf folgenden REM-Schlaf nicht mehr beeinflusst werden können. Der von Fischer und Kollegen beschriebene Effekt ist wohl nur zu beobachten, wenn nach der Think/No-Think Phase direkt eine REM-Schlaf dominante Nachthälfte folgt.

Wagner und Kollegen (2001) fanden in diesem Zusammenhang heraus, dass der REM-Schlaf bei der Konsolidierung emotionaler Gedächtnisinhalte einen fördernden Einfluss auf den späteren Abruf hat. Sie verglichen dabei die verschiedenen Gedächtnisleistungen von Schlaf- und Wachprobanden anhand emotionaler und neutraler Texte. Hierbei zeigten die Probanden, die während der zweiten REM-Schlaf dominanten Nachthälfte schlafen durften, einen signifikant besseren Gedächtnisabruf emotionaler Inhalte. Hierdurch könnte ebenfalls der positive Effekt des REM-Schlafes auf die Verdrängung erklärt werden. Mit dem bewussten Verdrängen der rot markierten Wörter werden diese mit einer emotionalen Komponente behaftet, wodurch ihr Abruf speziell durch die zweite REM-Schlaf dominante Nachthälfte gefördert werden kann.

Eine alternative Erklärung dieses Effektes geht auf die Generation von einer ablenkenden Assoziation zurück. Dies bedeutet, dass die Probanden aus dem ehemaligen Wortpaar „Vase-Mantel“ ein neues Wortpaar, zum Beispiel in Form von „Vase-Blume“, bilden. Eine solche zusätzliche Assoziation kann zur Schwächung der ursprünglich hergestellten Assoziation führen, so dass die Erinnerung an das richtige Zielwort erlischt, eine sogenannte Interferenzreaktion. Eine Studie von Stickgold et al. (1999) beschäftigte sich mit den Effekten des REM-Schlafes auf die Gedächtniskonsolidierung. Sie fanden heraus, dass besonders die schwachen Assoziationen im Vergleich zu starken Assoziationen durch den REM-Schlaf positiv beeinflusst werden. Diese Erklärung kann auf die vorliegenden Ergebnisse angewendet werden, da das Verdrängen während der Think/No-Think Phase zu einer Schwächung der Assoziation führt, welche wiederum durch den REM-Schlaf gezielt gefördert werden kann.

Hertel und Calcaterra (2005) entwickelten in diesem Zusammenhang ein von Anderson und Green etwas abweichendes Modell. Sie wendeten zwei verschiedene Versuchsbedingungen an. Die *unaided suppression* Bedingung ist hierbei identisch zu dem von Anderson und Green verwendeten Think/No-Think Design. In der *aided suppression* Bedingung gaben sie den Probanden vor der Think/No-Think Phase ein alternatives

Zielwort. An dieses sollten sie denken, wenn das jeweilige Signalwort, dessen Zielwort verdrängt werden sollte, auf dem Bildschirm erschien. In der finalen Abfrage zeigte nur die *aided suppression* Gruppe einen signifikanten Verdrängungseffekt. Verdrängung trat nur auf, wenn die Probanden bewusst an ein vorgegebenes, anderes Wort und nicht an das eigentliche Zielwort dachten.

Die Ergebnisse von Fischer und Kollegen können durch eine direkte Beeinflussung des REM-Schlafes auf die unterdrückte Erinnerung selbst erklärt werden. In der vorliegenden Studie ist die Assoziation zwischen Signal- und Zielwort wahrscheinlich durch den SWS bereits so gefestigt worden, dass der anschließende Effekt des REM-Schlafes gar nicht mehr zum Vorschein kommen kann. Die Sequenz SWS-REM-Schlaf verhindert demzufolge das Auftreten derjenigen Mechanismen, die der Verdrängung entgegenwirken.

Ob und welche Rolle der Schlaf einer ganzen Nacht und im Speziellen der SWS bei der Verdrängung hat, bleibt noch offen und müsste in weiteren Studien untersucht werden. Dass der REM-Schlaf dem Verdrängen entgegenwirkt, könnte dabei durchaus schlüssig sein, da bekanntermaßen verschiedene psychiatrische Erkrankungen mit Veränderungen der Schlafgewohnheiten und dem Schlafprofil einhergehen. So gehen Depressionen typischerweise mit folgenden Schlafeigenschaften einher: verkürzte REM-Schlaf-Latenzzeit, zunehmender REM-Schlaf-Anteil und einer erhöhten REM-Schlaf-Dichte (Benca et al., 1992). Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass es für depressive Patienten besonders schwierig ist, ihre negativen Gedanken und Gefühle zu unterdrücken, welches zu einer weiteren Verschlechterung ihrer Krankheit führt.

Weitere Studien sollten klären, inwiefern der SWS bei der Bewältigung bestimmter Erlebnisse helfen kann und den Betroffenen ein Verdrängen ermöglicht.

## 7 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit sollte der Effekt einer ganzen Nacht Schlaf auf das aktive Vergessen, bzw. Verdrängen zuvor gelernter Gedächtnisinhalte gezeigt werden. Hierzu wurde das Think/No-Think Paradigma angewendet, welches sowohl von einer Schlafgruppe als auch von einer Wach-Kontrollgruppe mit je 16 Probanden absolviert wurde. Aus vorherigen Studien ging bereits hervor, dass mit diesem Design ein Verdrängungseffekt nachgewiesen werden kann (Anderson und Green, 2001) und dass der REM-Schlaf dem Verdrängen entgegen zu wirken scheint (Fischer et al., unveröffentlichte Daten).

Die Probanden lernten zunächst Wortpaare, bis sie ein Kriterium von 50% erreicht hatten und begannen danach mit der Think/No-Think Phase, in der sie die jeweiligen Zielwörter entweder erinnern (Response Pairs) oder bewusst verdrängen (Suppression Pairs) sollten. Dabei wurden die verschiedenen Signalwörter unterschiedlich oft wiederholt (0-, 1-, 8- oder 16-mal), um zusätzlich zu beurteilen, ob das wiederholte Erinnern, bzw. Verdrängen einen möglichen Effekt auf den Gedächtnisabruf noch verstärkt. Die Probanden der Schlafgruppe gingen nach der Think/No-Think Phase während des 7-stündigen Retentionsintervalls schlafen, die Probanden der Wachgruppe in ihren gewohnten Alltag.

Im Baseline-Vergleich (diese Wörter wurden in der Think/No-Think Phase nicht gezeigt) wies die Schlafgruppe im Vergleich zur Wachgruppe einen signifikant besseren Abruf auf und zeigte somit den positiven Einfluss von Schlaf auf das Gedächtnis. Obwohl die Wörter, die erinnert werden sollten, einen erwartungsgemäß besseren Abruf zeigten, als die Wörter die verdrängt werden sollten, gab es keinen differentiellen Einfluss von Schlaf auf das Verdrängen. Die Hypothese, dass auch eine ganze Nacht Schlaf dem Verdrängen entgegenwirken würde, konnte in dieser Studie nicht verifiziert werden. Die Schlafgruppe zeigte keinen verbesserten Abruf der Suppression Pairs gegenüber den Baseline-Wörtern. Es wird diskutiert, dass der dem REM-Schlaf vorausgehende Tiefschlaf zu einer Festigung derjenigen Mechanismen führt, die eine Verdrängung bewirken. Der beobachtete Effekt von REM-Schlaf kann somit nicht mehr zum Vorschein kommen.

Die genaue Bedeutung einer ganzen Nacht Schlaf für die Verdrängung müsste in weiteren Studien noch genauer untersucht werden. Denn ein dem Verdrängen von Gedächtnisinhalten entgegenwirkender Mechanismus im REM-Schlaf und ein fördernder Einfluss im SWS wären von großer Bedeutung. Dieses gilt insbesondere für die verschiedenen psychiatrischen Erkrankungen, die mit einem erhöhten REM-Schlaf-Anteil einhergehen, wie zum Beispiel die Depression.

## 8 Quellen

- Anderson, M. C. & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature*, **410**, 366-369.
- Anderson, M. C., Ochsner, K. N., Kuhl, B., Cooper, J., Robertson, E., Gabrieli, S., W., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (2004). Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science*, **303**, 232-235.
- Asanuma, H. & Pavlides, C. (1997). Neurobiological basis of motor learning in mammals. *Neuroreport*, **8**, i-vi.
- Aschenbrenner, S., Tucha, O. & Lange, K. W. (2000). Regensburger Wortflüssigkeits-Test. Göttingen: Hogrefe.
- Aserinsky, E. & Kleitman, N. (1953): Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science*, **118**, 273-274.
- Barrett T. R. & Ekstrand B. R. (1972): Effect of Sleep on Memory: III. Controlling for Time-Of-Day effects. *J. Exp. Psychol.*, **96(2)**, 321-327.
- Bear, M. F. & Kirkwood, A. (1993). Neocortical long-term potentiation. *Curr. Opin. Neurobiol.*, **3**, 197-202.
- Benca, R. M., Obermeyer, W. H., Thisted, R. A. & Gillin, J. C. (1992). Sleep and psychiatric disorders. A meta-analysis. *Arch. Gen Psychiatry*, **49**, 651-668.
- Bierwolf, C., Struve, K., Marshall, L., Born, J. & Fehm, H. L. (1997): Slow wave sleep drives inhibition of pituitary-adrenal secretion in humans. *J. Neuroendocrinol.*, **9**, 479-484.
- Bliss, T. V. & Collingridge, G. L. (1993). A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature*, **361**, 31-39.
- Bliss, T.V., Collingridge, G. L. & Morris, R. G. M. (2003): *Long-Term Potentiation: Enhancing Neuroscience for 30 years*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Bliss, T. V. & Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentat area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J. Physiol. (Lond.)*, **232**, 331-356.
- Borbély A.A., Achermann P., Geering B. & Tobler I. (1998). Processes underlying sleep regulation. Watson S.J. (Ed.) *Psychopharmacology: The Fourth Generation of Progress*. Version No.2, CD ROM. ACNP Inc., Lippincott-Raven, New York.
- Born, J. & Gais, S. (2000). REM sleep deprivation: the wrong paradigm leading to wrong conclusions. *Behav. Brain Sci.*, 123-124.
- Born, J., Muth, S. & Fehm, H. L. (1988). The significance of sleep onset and slow wave sleep for nocturnal release of growth hormone (GH) and cortisol. *Psychoneuroendocrinology*, **13**, 233-243.
- Bulevich, J. B., Roediger, H. L., Balota, D. A., & Butler, A. C. (2006). Failures to find suppression of episodic memories in the think/no-think paradigm. *Memory & Cognition*, **34**, 1569-1577.

- Buzsaki, G. (1998). Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. *J Sleep Res*, **7**, 17-23.
- Depue, B. E., Curran, T. & Banich, M. T. (2007). Prefrontal Regions Orchestrate Suppression of Emotional Memories via a Two-Phase Process. *Science*, **317**, 215-219.
- Diekelmann, S. & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, **11**, 114-126.
- Dudai, Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annu. Rev. Psychol.*, **55**, 51-86.
- Ebbinghaus, H. (1885). *Über das Gedächtnis*. Leipzig.
- Eichenbaum, H. (2000). A cortical-hippocampal system for deklarative memory. *Nature Reviews Neuroscience*, **1**, 41-50.
- Ekstrand, B. R. (1967). Effect of sleep on memory. *J Exp Psychol*, **75**, 64-72.
- Eschenko, O., Ramadan, W., Mölle, M., Born, J. & Sara, S. J. (2008). Sustained increase in hippocampal sharp-wave ripple activity during slow-wave sleep after learning. *Learn. Mem.*, **15**, 222-228.
- Fischer, S., Diekelmann, S., Born, J. (unveröffentlichte Daten). *Sleep's role in the processing of unwanted memories*.
- Fishbein, W. (1971). Disruptive effects of rapid eye movement sleep deprivation on long-term memory. *Psychiol. Behav.*, **6**, 279-282.
- Foster, H. H. (1901): The necessity for new standpoints in sleep theories. *Am. J. Psychol.*, **12**, 145-177.
- Fowler, M. J., Sullivan, M. J. & Ekstrand, B. R. (1973). Sleep and memory. *Science*, **179**, 302-304.
- Frankland, P. W. & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nat. Rev. Neurosci.*, **6**, 119-130.
- Freud, S. & Breuer, J. (1895). *Studien über Hysterie*. Wien.
- Gais, S. & Born, J. (2004). Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **101 (7)**: 2140-2144.
- Gais, S., Hulleman, P., Hallschmid, M., Born, J. (2006). Sleep-depnt surges in growth hormone do not contribute to sleep-depnt memory consolidation. *Psychoendocrinol.* **31 (6)**: 786-91.
- Gillberg, M. & Akerstedt, T. (1982). Body temperature and sleep at different times of day. *Sleep*, **5**, 378-388.
- Haist, F., Bowden, G. J. & Mao, H. (2001). Consolidation of human memory over decades revealed by functional magnetic resonance imaging. *Nat. Neurosci.*, **4**, 1139-1145.
- Hasselmo, M. E. (1999). Neuromodulation: acetylcholine and memory consolidation. *Trends Cogn. Sci.*, **3**, 351-359.

- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York: Wiley.
- Hertel, P. T., & Calcaterra, G. (2005). Intention forgetting benefits from thought substitution. *Psychonomic Bulletin & Review*, **12**, 484-489.
- Hertel, P. T. & Gerstle, M. (2003). Depressive deficits in forgetting. *Psychological Science*, **14**, 573-578.
- Hobson, J. A. & Pace-Schott, E. F. (2002). The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat. Rev. Neurosci.*, **3**, 679-693.
- Horne, J. A. (1988). *Why we sleep: the functions of sleep in humans and other mammals*. London: *Oxford University Press*.
- Horne, J. A. & McGrath, M. J. (1984). The consolidation hypothesis for REM sleep function: stress and other confounding factors. *Biol. Psychol.*, **18 (3)**, 165-184.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr. Clin. Neuropsychol.*, **10**, 371-375.
- Jenkins, J. G. & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *Am. J. Psychol.*, **35**, 605-612.
- Louie, K. & Wilson, M. A. (2001). Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, **29**, 145-156.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V., A. & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of Dorsolateral Prefrontal and Anterior Cingulate Cortex in cognitive control. *Science*, **288**, 1835-1838.
- Malenka, R. C. & Nicoll, R. A. (1999). Long-term potentiation - a decade of progress? *Science*, **285**, 1870-1874.
- Maquet, P., Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C., Aerts, J., Del Fiore, G., Degueldre, C., Meulemans, T., Luxen, A., Franck, G., Van Der Linden, M., Smith, C. & Cleeremans, A. (2000). Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nat Neurosci*, **3**, 831-6.
- Markowitsch H. J. (1996). Neuropsychologie des menschlichen Gedächtnisses. *Spektrum der Wissenschaft*, **9**, 52-61.
- McClelland, J.L., McNaughton, B.L. & O'Reilly, R.C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychol Rev*, **102**, 419-457.
- McGaugh, J.L. (2000) Memory - a century of consolidation. *Science*, **287**, 248-251.
- McNaughton, B., Barnes, C. A., Battaglia, F. P., Bower, M. R., Cowen, S. L., Ekstrom, A. D., Gerrard, J. L., Hoffman, K. L., Karten, Y., Lipa, P., Pennartz, C. M. A. & Sutherland, G. R. (2003). Off-line reprocessing of recent memory and its role in consolidation: a progress report. In: Maquet, P., Smith, C., Stickgold, R. (eds.). *Sleep and Brain Plasticity*. Oxford: *Oxford University Press*, 225-246.

- Miller, L., Drew, W. G. & Schwartz, I. (1971). Effect of REM sleep deprivation on retention of a one-trial passive avoidance response. *Percept. Mot. Skills*, **33**, 118.
- Müller, G. E. & Pilzecker, A. (1900). Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Z. Psychol. Ergänzungsband*, **1**, 1–300.
- Nadasdy, Z., Hirase, H., Czurko, A., Csicsvari, J. & Buzsaki, G. (1999). Replay and time compression of recurring spike sequences in the hippocampus. *J. Neurosci.*, **19**, 9497-9507.
- Newman, E. B., (1939). Forgetting on meaningful material during sleep and waking. *Am. J. Psychol.*, **52**, 65-71.
- Oberauer, K. & Lewandowsky, S. (2008). Forgetting in Immediate Serial Recall: Decay, Temporal Distinctiveness, or Interference? *Psychol. Rev.*, **115 (3)**, 544-576.
- Oswald, I. (1980). Sleep as restorative process: human clues. *Prog. Brain Res.*, **53**, 279-288.
- Otten, L.J. & Rugg, M.D. (2002). The birth of a memory. *Trends Neurosci*, **25**, 279-281.
- Pape, H. C. (2005). Rhythmen des Gehirns: Elektroenzephalographische und neuronale Korrelate des Verhaltens. *Physiologie*, **5**, 840.
- Pavlov, I.P. (1927): Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex. London: *Oxford University Press*.
- Peigneux, P., Laureys, S., Delbeuck, X. & Maquet, P. (2001). Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*, **12**, A111-A124.
- Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Collette, F., Perrin, F., Reggers, J. et al. (2004). Are spatial memories strengthened in the human hippocampus during slow wave sleep? *Neuron*, **44**, 535-545.
- Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J. Cogn. Neurosci.*, **9**, 534-547.
- Plihal, W. & Born, J. (1999a). Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophysiology*, **36**, 571-582.
- Plihal, W. & Born, J. (1999b). Memory consolidation in human sleep depends on inhibition of glucocorticoid release. *Neuroreport*, **10**, 2741-2747.
- Plihal, W., Pietrowsky, R. & Born, J. (1999). Dexamethasone blocks sleep induced improvement of declarative memory. *Psychoneuroendocrinology*, **24**, 313-331.
- Pschyrembel (2001): 259. Auflage, 1495.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Los Angeles: *Brain Information Service, University of California*.
- Ryan, T., Mlynczak, S., Erickson, T., Man, S. F. & Man, G. C. (1989). Oxygen consumption during sleep: influence of sleep stage and time of night. *Sleep*, **12**, 201-210.

- Sampson, H. (1965). Deprivation of dreaming sleep by two methods. *Arch. Gen. Psychiatry*, **13**, 79-86.
- Shimizu, E., Tang, Y. P., Rampon, C. & Tsien, J. Z. (2000). NMDA receptor-dependent synaptic reinforcement as a crucial process for memory consolidation. *Science*, **290**, 1170-1174.
- Shors, T. J., Miesegaes, G., Beylin, A., Zhao, M., Rydel, T. & Gould, E. (2001). Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature*, **410**, 372-376.
- Squire, L. R. (1987). *Memory and Brain*. New York: *Oxford University Press*.
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev*, **99**, 195-231.
- Squire, L.R. & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, **253**, 1380-1386.
- Squire LR, Zola-Morgan, S. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A*, **93**, 13515-13522.
- Stickgold, R., James, L. & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nat. Neurosci.*, **3**, 1237-1238.
- Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, **27**; 1272-1278.
- Stickgold, R., Scott, L., Rittenhouse, C., & Hobson, J. A. (1999). Sleep-induced changes in associative memory. *J. Cogn. Neurosci.*, **11**, 182-193.
- Stones, M.J. (1977). Memory performance after arousal from different sleep stages. *Br. J. Psychol.*, **68**, 177-181.
- Sutherland, G. R. & McNaughton, B. (2000). Memory trace reaction in hippocampal and neocortical neuronal ensembles. *Curr. Opin. Neurobiol.*, **10**, 180-186.
- Tulving, E. & Schacter, D.L. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, **247**, 301-306.
- Tulving, E. & Psotka, J. (1971). Retroactive inhibition in free recall: Inaccessibility of information available in the memory store. *J. Exp. Psychol.*, **87**, 116-124.
- Wagner, U., Gais, S. & Born, J. (2001). Emotional memory formation is enhanced across intervals with high amounts of rapid eye movement sleep. *Learning & Memory*, **8 (2)**, 112-119.
- Wiltgen, B. J., Brown, R. A., Talton, L. E. & Silva, A. J. (2004). New circuits for old memories: the role of the neocortex in consolidation. *Neuron*, **44**, 101-108.
- Yaroush, R., Sullivan, M. J. & Ekstrand B. R., (1971). Effect of sleep on memory. II. Differential effect of the first and second half of the night. *J. Exp. Psychol.*, **88**, 361-366.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (2002). A test battery for attentional performance. *M. Leclercq & P. Zimmermann (eds.). Applied Neuropsychology of Attention. Theory, Diagnosis and Rehabilitation*, 110-151.

## 9 Anhang

### 9.1 Wortpaarliste

(Signalwort – Zielwort)

Seele	Löffel	Stein	Radio
Bär	Liebe	Regel	See
Stricken	Hopfen	Knall	Brille
Vase	Mantel	Buch	Gasse
Kino	Luft	Flagge	Glas
Futter	Zange	Geld	Kirsche
Träne	Keller	Esel	Rosa
Gift	Butter	Telefon	Säbel
Dank	Wade	Treffer	Strom
Uhr	Bleistift	Herr	Anker
Vertrag	Sesam	Vier	Stern
Sache	Leber	Teig	Flut
Kiesel	Gitarre	Leib	Zoll
Neid	Specht	Spaß	Lehne
Fall	Hecht	Geschichte	Moor

## 9.2 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

### 9.3 Regensburger Wortflüssigkeitstest

Untertest 1:            a) P-Wörter                            b) 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, Sportschuh wäre falsch).

Bitte versuchen Sie möglichst schnell viele verschiedene Wörter aufzuschreiben.

Untertest 2:            a) G-R-Wörter                            b) H-T-Wörter

In diesem Untertest wurden analog zu Untertest 1 Wörter mit einem vorgegebenen Anfangsbuchstaben gesucht, wobei die Wörter im Wechsel aufgeschrieben werden müssen. Zunächst ein Wort mit G (H), dann mit R (T) und dann wieder mit G (H).

Untertest 3:            a) Tiere                                        b) Lebensmittel

In diesem Untertest wurden nur Tiere (bzw. Lebensmittel) gesucht, der Anfangsbuchstabe spielte hierbei keine Rolle.

Untertest 4:            a) Sportarten-Früchte                    b) Kleidungsstücke-Blumen

In diesem Untertest wurden wieder im Wechsel Sportarten (Kleidungsstücke) und Früchte (Blumen) gesucht, auch hierbei spielte der Anfangsbuchstabe keine Rolle.

## 9.4 Fragebogen: Übungsphase

Name:

Datum:

Uhrzeit:

GRÜNE SIGNALWORTE.

Bei GRÜNEN Signalworten, wie oft haben Sie versucht das dazugehörige Zielwort so schnell wie möglich zu nennen?

niemals		in 50% der Fälle		immer
0	1	2	3	4

ROTE Signalworte.

1) Wie viele Sekunden haben Sie im Durchschnitt auf das ROTE Signalwort gesehen wenn es auf dem Bildschirm angezeigt wurde?

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

2) Wenn Sie das ROTE Signalwort angesehen haben, wie oft haben Sie es gelesen und verinnerlicht?

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

3) Wie oft haben Sie an das Wort gedacht das mit dem ROTEN Signalwort verbunden war und haben es nur nicht gesagt?

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

4) Wenn Sie das ROTE Signalwort angesehen haben, wie oft waren Sie dazu in der Lage NICHT an das dazugehörige Zielwort zu denken?

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

5) Nachdem das ROTE Signalwort vom Bildschirm verschwunden war, wie oft, wenn überhaupt, haben Sie dann an das dazugehörige Zielwort gedacht?

0                      1                      2                      3                      4

6) Wie oft haben Sie an ein anderes Wort gedacht, um sich das mit dem ROTEN Signalwort verbundene Zielwort nicht in den Sinn kommen zu lassen?

0                      1                      2                      3                      4

7) Wie oft, wenn überhaupt, haben Sie nur für eine Sekunde an das Zielwort gedacht, um zu sehen wie es geheißen hat bevor Sie damit angefangen haben es zu ignorieren?

0                      1                      2                      3                      4

## 9.5 Fragebogen: Strategie

Name:

Datum:

Uhrzeit:

Manchmal haben Probanden damit gerechnet, dass Ihr Gedächtnis für die ROTEN Signalwörter getestet wird, auch wenn Sie instruiert wurden das dazugehörige Zielwort zu vergessen. Hier finden Sie einige Strategien die Probanden in der Vergangenheit angewendet haben um sicherzustellen, dass sie das entsprechende Zielwort der ROTEN Signalwörter nicht vergessen.

Bitte lesen Sie erst alle Aussagen gründlich durch und geben Sie dann auf der jeweiligen Skala an wie oft, wenn überhaupt, Sie eine dieser Strategien benutzt haben (Es ist extrem wichtig für dieses Experiment, dass Ihre Antworten so ehrlich und präzise wie möglich sind. Beschreiben Sie einfach die Erfahrung die Sie in dieser Phase des Experimentes gemacht haben. Ihre Antworten wirken sich nicht auf ihre Entlohnung aus!).

Ich habe das ROTE Signalwort gelesen, habe mich dann zuerst versichert, dass ich mich noch an das dazugehörige Zielwort erinnere und habe dann versucht nicht an dieses Wort zu denken.

niemals	selten	manchmal	häufig	sehr häufig
0	1	2	3	4

Ich habe das ROTE Signalwort gelesen, habe dann versucht nicht an das dazugehörige Zielwort zu denken. Nachdem das ROTE Signalwort vom Bildschirm verschwunden war habe ich mich jedoch versichert, dass ich mich noch an das dazugehörige Zielwort erinnere.

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

Ich habe das ROTE Signalwort gelesen, habe das dazugehörige Zielwort jedoch nicht laut gesagt sondern es im Stillen wiederholt um mein Gedächtnis dafür zu verbessern.

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

Ich habe das ROTE Signalwort gelesen und dann an ein anderes Wort gedacht um nicht an das dazugehörige Zielwort denken zu müssen.

0	1	2	3	4
---	---	---	---	---

## 9.6 Fragebogen zu Tagesaktivitäten

Probanden-Code:

Datum:

Bitte notieren Sie kurz in Stichpunkten, welchen Tätigkeiten Sie in den letzten 8 Stunden seit Verlassen des Labors nachgegangen sind:

09:00-11:00

---

---

11:00-13:00

---

---

13:00-15:00

---

---

15:00-17:00

---

---

## 9.7 Schlafragebogen

1.) Wann haben Sie sich gestern Abend schlafen gelegt (Licht gelöscht)?

2.) Konnten Sie, nachdem Sie sich schlafen gelegt hatten gleich einschlafen?

ja	
nein, erst nach 10 min	nein, erst nach 1 Stunde
nein, erst nach 20 min	nein, erst nach mehr als 1 Stunde
nein, erst nach 30 min	ich konnte überhaupt nicht einschlafen

3.) Falls Sie längere Zeit zum Einschlafen brauchten, welches waren die Gründe?  
(Mehrfachnennungen möglich!)

persönliche/berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	ungewohnte Schlafumgebung
Beschäftigung mit Tagesereignissen	sonstige: _____

4.) In der Einschlafphase hat man hin und wieder plötzlich deutliche Bildeindrücke.  
War dies gestern Abend bei Ihnen so?

nein	bin nicht sicher	ja, sehr deutlich
------	------------------	-------------------

5.) Hatten Sie während der Einschlafphase Muskelzuckungen in den Armen und Beinen?

nein	leicht	stark
------	--------	-------

6.) Hatten Sie gestern Nacht ein Stechen in der Herzgegend oder ein Ziehen im linken Arm verspürt?

nein	leicht	stark
------	--------	-------

7.) Sind Sie gestern, nach dem Einschlafen, nachts wieder aufgewacht?

nein	ja, einmal	ja, zweimal	ja, dreimal	ja, mehr als dreimal
------	------------	-------------	-------------	----------------------

8.) Falls Sie nach dem Einschlafen wieder aufgewacht sind, welches waren die Gründe? (Mehrfachnennungen möglich!)

persönliche/berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	ich hatte schlecht geträumt
Ich musste zur Toilette	sonstige: _____

**9.) Falls Sie in der Nacht aufgewacht sind, wie lange waren Sie wach? (Falls Sie keine genauen Angaben machen können, schätzen Sie bitte!)**

1. Aufwachen: Dauer ____ min.	3. Aufwachen: Dauer ____ min.
2. Aufwachen: Dauer ____ min.	4. Aufwachen: Dauer ____ min.

**10.) Können Sie sich erinnern, ob Sie heute Nacht geträumt haben?**

nein, ich kann mich nicht erinnern geträumt zu haben	ja, ich habe geträumt, kann mich aber nicht an den Trauminhalt erinnern	ja, ich habe geträumt und kann mich an den Trauminhalt erinnern
--	---	---

**11.) Falls Sie sich an ihre Träume erinnern können: Welche Gefühle hatten Sie während des Träumens? (Mehrfachnennungen mögl.)**

angenehme Gefühle	neutrale Gefühle	unangenehme Gefühle
-------------------	------------------	---------------------

**12.) Haben Sie in der letzten Nacht geschwitzt?**

nein	leicht	stark
------	--------	-------

**13.) Wann sind Sie heute Morgen aufgewacht? \_\_\_\_\_**

**14.) Sind Sie heute Morgen geweckt worden oder wurden Sie von alleine wach?**

ich wurde von alleine wach	ich wurde aus dem Halbschlag geweckt	ich wurde aus dem Tiefschlaf geweckt
----------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

**15.) Haben Sie heute Morgen Kopfschmerzen?**

nein	leicht	stark
------	--------	-------

**16.) Haben Sie gestern Abend nach dem Abendessen Alkohol getrunken?**

nein	ja, über den Abend verteilt	ja, unmittelbar vor dem Schlafengehen
------	-----------------------------	---------------------------------------

**17.) Haben Sie gestern Abend ein Schlafmittel benutzt?**

nein	ja
------	----

**18.) Wenn ja, welches? \_\_\_\_\_**

**19.) War der gestrige Tag für Sie sehr anstrengend?**

nein	ein wenig	sehr
------	-----------	------

		sehr	ziemlich	mittel	wenig	nicht
20.)						
<b>Wie haben Sie in der vergangenen Nacht geschlafen?</b>	gleichmäßig	1	2	3	4	5
	tief	1	2	3	4	5
	gut	1	2	3	4	5
	entspannt	1	2	3	4	5
	ungestört	1	2	3	4	5
	ruhig	1	2	3	4	5
	ausgiebig	1	2	3	4	5
21.)						
<b>Wie fühlten Sie sich gestern vor dem Schlafengehen?</b>	sorglos	1	2	3	4	5
	erschöpft	1	2	3	4	5
	schlafbedürftig	1	2	3	4	5
	überfordert	1	2	3	4	5
	ausgeglichen	1	2	3	4	5
	ruhig	1	2	3	4	5
	müde	1	2	3	4	5
	entspannt	1	2	3	4	5
22.)						
<b>Wie fühlen Sie sich heute Morgen?</b>	ausgeglichen	1	2	3	4	5
	dösig	1	2	3	4	5
	tatkräftig	1	2	3	4	5
	munter	1	2	3	4	5
	frisch	1	2	3	4	5
	ausgeschlafen	1	2	3	4	5
	entspannt	1	2	3	4	5