

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

Der Einfluss von Schlaf auf das prospektive Gedächtnis

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
-aus der medizinischen Fakultät-

vorgelegt von
Steffen Sauer
aus Reinbek

Lübeck 2009

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Jan Born
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Peter Maria Rob

Tag der mündlichen Prüfung: 13.11.2009
zum Druck genehmigt. Lübeck, den 13.11.2009

gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach
- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Theoretischer Hintergrund.....	3
2.1. Schlaf und seine Funktionen.....	3
2.1.1. Schlafstadien.....	4
2.2. Gedächtnis und seine Formen.....	6
2.2.1. Stadien der Gedächtnisformation.....	7
2.2.2. Prospektives Gedächtnis.....	8
3. Schlaf und Gedächtnis.....	11
4. Fragestellung und Hypothesen.....	15
5. Methoden.....	17
5.1. Probanden.....	17
5.2. Aufgaben.....	18
5.3. Design und Versuchsablauf.....	21
6. Ergebnisse.....	23
6.1. Statistik.....	23
6.1.1. Probanden und Kontrollvariablen.....	23
6.1.2. Ergebnisse zu Lerneinheiten.....	25
6.1.3. Ergebnisse zu Aufgaben mit prospektivem Inhalt.....	26
7. Diskussion.....	31
8. Zusammenfassung.....	35
9. Literaturverzeichnis.....	38
10. Danksagung.....	42
11. Curriculum vitae.....	43

1. Einleitung

Die Möglichkeit, Intentionen gedanklich zu fassen und ihre Realisierung mit geeigneten Zeitpunkten in der Zukunft zu synchronisieren, ist für die Effektivität menschlichen Verhaltens von grundlegender Bedeutung. Als Voraussetzung dafür, sich mental in die Zukunft zu begeben (von Tulving als *proscopic chronesthesia* bezeichnet), gilt das Bewusstsein für die Zeit. Dieses autozoetische Bewusstsein, das auf der Funktion episodischer Gedächtnisleistungen beruht, ermöglicht dem Menschen nicht nur Erinnerungen an frühere Ereignisse bewusst als autobiographische Fragmente seiner erlebten Vergangenheit zu verstehen, sondern auch, sich seine persönliche Zukunft vorzustellen und vor auszuplanen (Tulving, 2004). Die Möglichkeit, sich zu einem bestimmten Zeitpunkt an eine zuvor gefasste Handlungsabsicht zu erinnern, wie etwa die Einnahme von Medikamenten zu bestimmten Uhrzeiten, wird als prospektives Gedächtnis bezeichnet (Einstein & McDaniel, 2005). Es stellt ein Charakteristikum menschlicher Existenz dar (Johnson & Sherman, 1990).

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Schlaf und seine Funktion

»Was ist das? Der Mensch wünscht es sich herbei, und wenn er es endlich hat, lernt er es nicht kennen«.

Obgleich Schlaf mit einem Bewusstseinsverlust einhergeht, wie Leonardo da Vinci in seinem Rätsel andeutet, ist das Gehirn mit etwa 80% der Leistung, die es im Wachzustand besitzt, in der Lage, eine effektive Verarbeitung von internen Informationen durchzuführen (Hobson, 2005). Lange Zeit hatte man Schlaf auf einen regelmäßig wiederkehrenden physiologischen Erholungszustand reduziert. Verminderte Spontanaktivität, herabgesetzte Reaktion auf äußere Reize und Körperfunktionen, die einem überwiegenden Parasympathikus unterliegen, gaben Schlaf eine passive Konnotation. Heute wird Schlaf als aktiver Prozess verstanden, der im Laufe der Evolution viele Funktionen erlangt hat, die für das Überleben von Tier und Mensch von größter Bedeutung sind. Die vitale Funktion von Schlaf wird im Fall der Letalen Familiären Insomnie (FFI) deutlich. Die von dieser Erbkrankheit betroffenen Menschen leiden unter zunehmender Schlaflosigkeit, Gedächtnis- und Orientierungsstörungen bis hin zur Demenz. Die Krankheit endet immer tödlich. Der systematische Verlauf der Schlafphasen

bei Mensch und Tier lässt vermuten, dass es eine evolutionäre Grundlage und ein biologisches Bedürfnis für den Schlaf gibt. Eine vollständig plausible Erklärung zum genauen Zweck des Schlafes gibt es jedoch bis heute nicht. Zu den am häufigsten genannten Funktionen von Schlaf zählen Energiekonservierung, Restauration peripherer und zentralnervöser Defizite sowie Gedächtniskonsolidierung (Rosenzweig, Breedlove & Watson, 2005). Im Hinblick auf Letzteres konnten mehrere Studien zeigen, dass sich Schlafentzug nach Lerneinheiten negativ auf die Gedächtnisleistung auswirkt (Born & Plihal, 2000; Peigneux et al., 2001; Smith, 2001). Auch metabolische und immunologische Prozesse unterliegen dem Einfluss von Schlaf. Schlaf wird offensichtlich durch mindestens zwei unterschiedliche Regulationsmechanismen gesteuert, die nach Borbely (1998) als Prozess S und Prozess C bezeichnet werden. Prozess C beschreibt einen circadianen Rhythmus, während Prozess S einen homöostatischen Vorgang darstellt, der Dauer und Intensität des Schlafes reguliert. Dieses 2-Prozess-Modell wurde in vielen Experimenten bestätigt und um einen ultradianen Faktor erweitert, der die unterschiedliche Phasendauer des Rapid Eye Movement (REM)-Schlafes erklärt.

2.1.1 Schlafstadien

Schlaf ist kein einheitlicher Prozess, sondern setzt sich aus verschiedenen Schlafstadien zusammen, die in den Anfängen der Schlafforschung im Zusammenhang mit der Schlaftiefe definiert wurden. Aserinsky und Kleitman (1953) entdeckten mit dem REM-Schlaf ein weiteres Schlafstadium, das in der Einteilung von Rechtschaffen und Kales (1968) den als Non-REM-Schlaf zusammengefassten Schlafstadien 1 bis 4 gegenübergestellt wird. Die verschiedenen Stadien zeigen jeweils charakteristische Muster der Hirn- und Muskelaktivität sowie der Augenbewegungen. Im Wachzustand wird das Elektroenzephalogramm (EEG) von Alpha-Wellen (8-13 Hz) dominiert. Das durch Niederspannung und Mischfrequenz (2-7 Hz) charakterisierte Schlafstadium 1 zeigt den Übergang in den Schlafzustand an. Es geht mit charakteristischen rollenden Augenbewegungen einher. Die Schlaftiefe nimmt mit den Schlafstadien 1 bis 4 progredient zu, was an der sinkenden Frequenz und der steigenden Amplitude erkennbar wird. Schlafstadium 2 zeigt charakteristische Formationen im Beta-Frequenzbereich (12-14 Hz), die als K-Komplexe und Schlafspindeln auftauchen. In den Schlafstadien 3 und 4 kommen hauptsächlich langsame Delta-Wellen vor (0,5-4 Hz), so dass von Tiefschlaf oder Slow-Wave-Sleep (SWS) gesprochen wird. In Stadium 3 machen diese Wellen zwischen 20% und

50%, im Stadium 4 über 50% der EEG-Aktivität aus. Augenbewegungen fehlen, der Muskeltonus ist niedrig. Der REM-Schlaf wird von schnellen Augenbewegungen begleitet, die als rapid eye movements dem Stadium seinen Namen gegeben haben. Der Muskeltonus der restlichen Muskulatur ist niedrig. Der REM-Schlaf wird auch paradoxer Schlaf genannt, weil die phasische Aktivität der Augenmuskeln und die hochfrequenten Muster des Elektroenzephalogramms eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Wachzustand zeigen. Bei gesunden Menschen wechseln sich Non-REM-Schlaf und REM-Schlaf nach einem ultradianen Zyklus ab, wobei dem REM-Schlaf stets eine Tiefschlafphase vorausgeht. Beim Menschen ist der ultradiane Zyklus 90 bis 100 Minuten lang. In der ersten Nachthälfte nimmt der Tiefschlaf etwa 80% der Schlafzeit ein, während in der zweiten Nachthälfte der Anteil des REM-Schlafes stark zunimmt. Typisch ist der Wechsel zwischen REM-Schlaf und Schlafstadium 2. Dass Schlaf eine aktive, in sich strukturierte Leistung des Gehirns ist, wird auch durch neurochemische Veränderung und Alterationen in der Konzentration spezifischer Neurotransmitter deutlich, was eine Modifizierung zellulärer Funktionen und Interaktionen im Gehirn zur Folge hat. Am stärksten sind diese Alterationen bei den gedächtnisassoziierten Hormonen Cortisol und Somatotropin zu beobachten (Born & Fehm, 2000). In der ersten Nachthälfte, die von Tiefschlafphasen geprägt wird, ist die circadiane Cortisolausschüttung minimal, während die Ausschüttung von Somatotropin ein Maximum erreicht. In der von REM-Schlaf dominierten zweiten Nachthälfte verhält es sich umgekehrt. Darüber hinaus sind während der Tiefschlafphasen die Konzentrationen der Hormone Serotonin und Noradrenalin hoch, während die des Acetylcholins gering ist. Das genaue Gegenteil ist während der REM-Phasen der Fall (Hobson & Pace-Schott, 2002; Payne & Nadel, 2004).

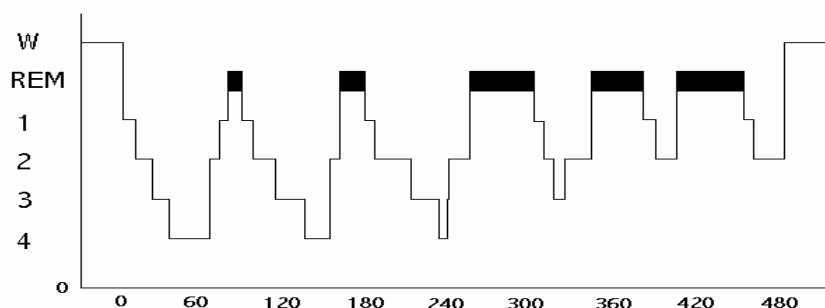


Abbildung 1: Schlafphasen; W = Wach, REM = REM-Phase, 1 bis 4 = Schlafstadien 1 bis 4 (Non-REM-Schlaf).

2.2. Gedächtnis und seine Formen

Gedächtnis umfasst die Fähigkeiten, Informationen aufzunehmen, zu speichern und abzurufen. Die gespeicherten Informationen sind das Ergebnis bewusster oder unbewusster Lernprozesse und Ausdruck neuronaler Plastizität. Strukturorientierten Theorien zufolge umfasst das Gedächtnis zahlreiche, zum Teil parallel und unabhängig voneinander arbeitende Subsysteme, die sich sowohl funktionell als auch neuroanatomisch unterscheiden. Je nach Dauer der Speicherung der Information wird zwischen dem sensorischen Gedächtnis, dem Kurzzeitgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis unterschieden. Während das sensorische Gedächtnis Informationen nur für Sekunden behält, werden Gedächtnisinhalte im Kurzzeitgedächtnis für Minuten und Stunden gespeichert. Gedächtnisinhalte, die Tage und Jahre andauern, werden dem Langzeitgedächtnis zugeordnet. Das Langzeitgedächtnis des Menschen kann in mindestens zwei Typen unterteilt werden: deklaratives und non-deklaratives Gedächtnis. Das deklarative Gedächtnis besteht aus Gedächtnisspuren, die bewusst erinnert und willkürlich kontrolliert werden können und daher auch explizites Gedächtnis genannt werden. Informationen, die diesem Gedächtnissystem zuzuordnen sind, können wissentlich von einem Menschen auf den anderen übertragen werden. Dies können unter anderem Ereignisse sein, die die eigene Biographie (episodisches Gedächtnis) oder generelles, zeitlich ungebundenes Wissen betreffen (semantisches Gedächtnis). Das deklarative Gedächtnissystem ist bezüglich der Einspeicherung von Gedächtnisinhalten an die Aktivität des Hippocampus gebunden, der über Afferenzen und Efferenzen mit weiten Teilen des Neokortex verbunden ist. Läsionen des Hippocampus führen typischerweise zu einer anterograden Amnesie bezogen auf deklarative Gedächtnisinhalte: Patienten sind nicht in der Lage neue Informationen zu lernen, zu speichern und abzurufen. Darüber hinaus ist eine retrograde Amnesie zu beobachten: Patienten haben Schwierigkeiten bereits eingespeicherte Erinnerungen abzurufen. Je näher die Einspeicherung einer Gedächtnisspur an einem Amnesie auslösenden Ereignis liegt, desto eher ist mit dem Verlust dieser Gedächtnisspur zu rechnen. Diese Patienten sind jedoch in der Lage, neues non-deklaratives Gedächtnis zu erlangen. Es handelt sich dabei um Gedächtnisinhalte, die sich jeder Mensch durch wiederholtes Üben aneignen muss. Das non-deklarative Gedächtnis umfasst selbst wieder verschiedene Gedächtnisfunktionen wie das prozedurale Gedächtnis, das sich aus mechanisch erlernten Handlungsabläufen zusammensetzt (Fertigkeiten), und dem Priming, einer erhöhten Wiedererkennungswahrscheinlichkeit für Reize, denen man zuvor unbewusst begegnet ist.

Auch einfaches Konditionieren, also das Erlernen von Zusammenhängen zwischen Ereignissen und ähnliche Vorgänge, sind dem non-deklarativen Gedächtnis zuzuordnen. Allen non-deklarativen Gedächtnissystemen ist der Umstand gemein, dass sie ohne willkürliche Kontrolle erlernt werden. Daher wird auch von implizitem Gedächtnis gesprochen. Die einzelnen Gedächtnisfunktionen sind an die Aktivität unterschiedlicher Hirnareale gebunden. Eine gemeinsame Struktur, wie sie der Hippocampus für das deklarative Gedächtnis darstellt, gibt es nicht (Squire, 1998). Es liegt die Vermutung nahe, dass non-deklarative Gedächtnisleistungen unabhängig vom Hippocampus funktionieren.

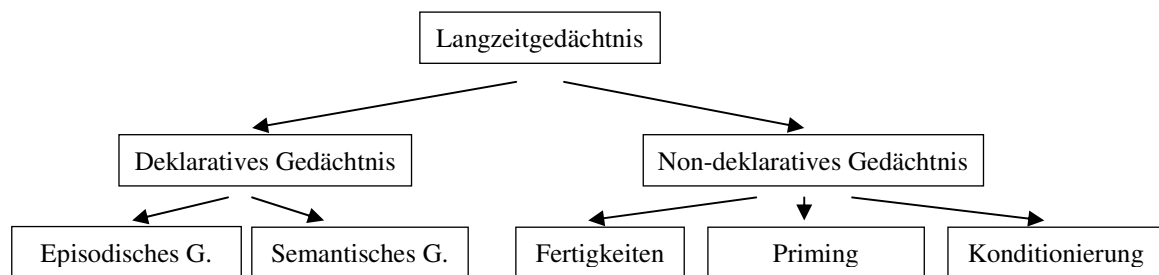


Abbildung 2: Gedächtnissysteme (modifiziert nach Rosenzweig et al. 2005).

2.2.1. Stadien der Gedächtnisformation

Prozessorientierten Theorien zufolge kann der Gedächtnisprozess in die Stadien Enkodierung, Konsolidierung und Abruf unterteilt werden (Rosenzweig et al., 2005). Alle Stadien hängen von unterschiedlichen Faktoren ab und beeinflussen somit den Erfolg einer Gedächtnisleistung. So hängt die Enkodierung beispielsweise von der Aufmerksamkeit, Wiederholung, Bekanntheit und Verarbeitungstiefe des zu lernenden Materials ab (Craik & Lockhart, 1972). Während der Enkodierung entstehen in den neuronalen Netzwerken des Gehirns Repräsentationen aufgenommener Informationen. Es handelt sich um labile Gedächtnisspuren, die während der Konsolidierung fortlaufend ohne weitere Lernprozesse stabilisiert und mit bereits im Langzeitgedächtnis vorhandenen Informationen vernetzt werden. Dafür ist die Konsolidierung auf mehreren Ebenen von großer Bedeutung. Mindestens zwei Formen von Konsolidierung können unterschieden werden: Synaptische- und Systemkonsolidierung (Frankland & Bontempi, 2005). Auf neurophysiologischer Ebene kommt es zu strukturellen Veränderungen synaptischer Verschaltungsmuster. Darunter werden Wachstumsvorgänge neuer synaptischer Verbindungen und die Reorganisation bereits bestehender Verbindungen zusammengefasst. Diese synaptische Konsolidierung auf der Ebene lokaler Netzwerke beginnt bereits während des Lernprozesses und wird in wenigen

Stunden realisiert. Systemkonsolidierung hingegen ist ein längerer Prozess, der mit der Reorganisation von Hirnarealen einhergeht. Dabei entstehen in Abhängigkeit von Lernmodalitäten neue Nervenverbindungen innerhalb einer oder zwischen zwei Hirnregionen (Debiec, 2002). Die Konsolidierung von deklarativen Gedächtnisinhalten scheint von der Interaktion zwischen neokortikalen und hippocampalen Netzwerken abhängig zu sein (Frankland & Bontempi, 2005). Der Hippocampus scheint eine wichtige Rolle bei der temporären Speicherung von Informationen zu spielen. Die permanente Speicherung wird aber vermutlich von kortikalen Netzwerken realisiert. Das Modell zweier komplementärer Lernsysteme (McClelland et al., 1995) erklärt unter anderem, warum Informationen schnell enkodiert werden können, ohne Interferenzen zu verursachen. Im Hippocampus können Informationen schon nach einmaliger Präsentation abgespeichert werden, selbst wenn sie im Widerspruch zu bisherigem Wissen stehen, da sie vermutlich als episodische Erfahrung markiert werden. Der Hippocampus wird als schnell lernendes System angesehen. Der Neokortex steht diesem als langsam lernendes System gegenüber, in das Informationen erst nach wiederholter Präsentation integriert werden. Der Transfer von Informationen aus dem Hippocampus in den Neokortex wurde an Hand der Dauer der retrograden Amnesie bei Patienten mit Hippocampusläsionen nachgewiesen (Squire et al., 2001). Patienten mit lokalisierter Läsion im Mediotemporallappen zeigen eine anterograde und retrograde Amnesie, die hauptsächlich kurzfristig und mittelfristig konsolidierte Gedächtnisinhalte betrifft. Es liegt die Vermutung nahe, dass Gedächtnisinhalte, die erst kürzlich enkodiert wurden, noch auf die Aktivität des Hippocampus angewiesen sind und daher nicht erinnert werden können, während länger zurückliegende Gedächtnisinhalte, die kortikalen Netzwerken zuzuordnen sind, problemlos erinnert werden können.

2.2.2. Prospektives Gedächtnis

Der Begriff prospektives Gedächtnis beschreibt die Fähigkeit, sich zu einem bestimmten Zeitpunkt an eine zuvor gefasste Handlungsabsicht zu erinnern (Einstein & McDaniel, 2005). Freud hatte 1952 eine metaphorische Annäherung gewagt: „Die Intention schlummert, bis der Zeitpunkt gekommen ist, um sie zu realisieren. Dann erwacht sie und bringt den Menschen dazu, die Aktion auszuführen“ (Freund, 1952). Viele Aktivitäten des alltäglichen Lebens erfordern prospektive Gedächtnisleistungen, da Absichten des Menschen die Zukunft betreffen, wo sie zu adäquaten Zeitpunkten ausgeführt werden sollen. Winograd definierte das prospektive Gedächtnis 1988 als die Erinnerung daran, sich erinnern zu wollen (remembering

to remember) und weist darauf hin, dass es sich dabei um eine Abfolge zweier Gedächtnisleistungen handelt. Die Ausführung prospektiver Gedächtnisleistungen basiert auf einem fraktionierten Prozessablauf, der sich aus zwei Komponenten zusammensetzt, einer prospektiven (PC) und einer retrospektiven Komponente (RC) (Einstein & McDaniel, 1990). Die prospektive Komponente beschreibt, dass etwas erinnert werden soll (intent). Die retrospektive Komponente beschreibt den Inhalt dessen, was erinnert werden soll (content), nämlich die Handlungsabsicht. Die erfolgreiche Funktion des prospektiven Gedächtnisses ist an beide Komponenten gebunden, da sie sowohl von der Identifizierung prospektiver Reize, und damit der Initiierung der prospektiven Gedächtnisleistung, als auch von der erfolgreichen Generierung vormals gespeicherter Gedächtnisinhalte abhängig ist. Es gibt Hinweise dafür, dass beide Komponenten unabhängig voneinander beeinflusst werden können (Cohen et al., 2003) und wahrscheinlich auf verschiedenen Hirnstrukturen basieren. Die prospektive Komponente scheint auf der Funktion frontaler Hirnregionen zu basieren, während bei der retrospektiven Komponente vermutlich der Hippocampus eine entscheidende Rolle spielt (Umeda et al., 2006). Anders als das retrospektive Gedächtnis, das nach extern angebotenen Reizen explizit abgefragt werden kann, initiiert sich das prospektive Gedächtnis eigenständig nach einem Reiz, der als geeignet gilt (Einstein & McDaniel, 2000, 2005). Es kann sich dabei sowohl um Ereignisse, als auch um Zeitpunkte oder Zeitspannen handeln. Es ist bis heute unklar, in welchem Maße Aufmerksamkeit und assoziative Prozesse bei der Initiierung des prospektiven Gedächtnisses eine Rolle spielen. Es gibt verschiedene Theorien, die sich mit der Bewältigung prospektiver Gedächtnisleistungen befassen. Der Monitoring-Theorie zufolge handelt es sich bei der Bewältigung prospektiver Aufgaben um einen strategischen Prozess, bei dem die prospektive Erinnerung nur durch die systematische Überwachung der Umwelt und der dadurch erleichterten Identifizierung prospektiver Reize (die eine Handlungsabsicht auslösen) realisiert wird. Dies ist ein Prozess, dessen Funktion an ein bestimmtes Maß an Aufmerksamkeit gebunden ist. Ein exekutives Aufmerksamkeitssystem (z.B. Supervisory Attention System, Shallice und Burgess, 1991) ist dabei an der Enkodierung von Handlungsabsichten und Reizen, die diese auslösen, beteiligt. Die Umgebung wird später auf diese Reize hin beobachtet. Identifiziert das Aufmerksamkeitssystem einen enkodierten Reiz, so werden Prozesse initiiert, die für die Ausführung vormals gefasster Handlungsabläufe nötig sind. Denkbar ist, dass ausführende Aufmerksamkeitsressourcen die Überwachung der Umwelt ständig aufrechterhalten (Smith, 2001) oder dass ein exekutives System zyklisch die Handlungsabsicht in unser Bewusstsein bringt und damit die assoziative Verknüpfung

zwischen Reiz und Handlungsabsicht bestehen bleibt (Guynn et al., 1998). Im Gegensatz dazu geht die reflexiv-assoziative Theorie (Spontaneous Retrieval Theory) davon aus, dass Reize unter Einbeziehung assoziativer Netzwerke mit Handlungsabsichten derart verknüpft werden können, dass sie diese automatisch aktivieren können (McDaniel et al., 2004; Einstein et al., 2005). Obgleich Motivations- und Antizipationsprozesse in Zusammenhang mit stetiger Aufmerksamkeit den Erfolg von prospektiven Gedächtnisinhalten beeinflussen können (Marsh, Hicks & Cook, 2005), gibt es Grund zur Annahme, dass für deren Erfolg nicht immer ein hohes Maß an Aufmerksamkeit nötig ist. Dies wird offensichtlich, wenn Handlungsabsichten spontan in unser Bewusstsein gelangen und auf eine assoziative Herkunft schließen lassen. Die 2-Prozess-Theorie berücksichtigt beide Theorien und beschreibt eine multiple Annäherung an die Strategien zur Bewältigung prospektiver Gedächtnisleistungen. Die Prozesskonstellation variiert dabei in Abhängigkeit von der subjektiv empfundenen Wichtigkeit der Aufgabe, der Eigenschaft der Reize sowie deren Assoziationsgrad zu vormals gefassten Handlungsabsichten. Auch die Merkmale der Aufgabe sowie individuelle Unterschiede spielen dabei eine entscheidende Rolle (Einstein & McDaniel, 2000; Einstein et al., 2005). So wird beispielsweise vermutet, dass bei prospektiven Aufgaben, die als wichtig eingestuft werden, die Monitoring-Strategie bevorzugt verwendet wird, um eine erfolgreiche Funktion zu gewährleisten. Während eine andauernde Aufgabe bewältigt wird, die in diesem Zusammenhang als Ongoing Task bezeichnet wird, gerät nun die systematische Suche nach Reizen in den Fokus der Aufmerksamkeit. Diese zusätzliche Anforderung führt zu einer Verlangsamung bei der Bewältigung der Ongoing Task, da das strategische Monitoring zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen beansprucht. Weniger wichtige Aufgaben werden den nicht erschöpfbaren, automatisch reflexiv-assoziativ geprägten Prozessen überlassen. Viele Forscher vermuten daher, dass das prospektive Gedächtnis die Tendenz zeigt, den kognitiven Anspruch einer prospektiven Gedächtnisleistung zu minimieren und somit kognitive Systeme nicht übermäßig durch die Bereitstellung von Ressourcen zur Lösung bestimmter prospektiver Aufgaben belastet werden (Einstein & McDaniel, 2000; Einstein et al., 2005). Automatische reflexiv-assoziative Prozesse beruhen wahrscheinlich auf der Funktion des Hippocampus, während Monitoring auf präfrontal gelegenen Strukturen basiert. (Einstein et al., 2005).

3. Schlaf und Gedächtnis

Bereits 1885 beschreibt der Psychologe Hermann Ebbinghaus, dass sinnlose Silben 8 bis 24 Stunden nach einer Lernsituation besser abgefragt werden können als nach 1 bis 8 Stunden. Eine Beobachtung, die Jenkins und Dallenbach 1924 experimentell bestätigen. In ihrem Versuch lernten Probanden sinnlose Silben entweder vor oder nach dem nächtlichen Schlaf. Die Ergebnisse zeigten, dass Probanden sich an mehr Silben erinnerten, wenn sie im Anschluss an die Lernsituation geschlafen hatten. Jenkins und Dallenbach deuteten ihre Ergebnisse als Hinweis darauf, dass die Abwesenheit störender Interferenzen im Schlaf das Lernen begünstigt (Interferenztheorie). Andere Theorien wie die Theorie vom Spurenerfall, nach der es im Schlaf zu einem verlangsamten Zerfall von Gedächtnisspuren komme, wurden ebenfalls von vielen Forschern für die Deutung ähnlicher Ergebnisse herangezogen. Heutigen Ansichten zufolge ist der Effekt von Schlaf auf das Gedächtnis ein aktiver Konsolidierungsprozess. Darüber hinaus scheinen die Gedächtnissysteme in den verschiedenen Schlafphasen unterschiedlich beeinflusst zu werden. Man nimmt heute an, dass das prozedurale Gedächtnis vorwiegend von REM-Schlaf, das deklarative Gedächtnis vorwiegend von Tiefschlaf profitiert. Aufgrund der ungleichen Verteilung von Tiefschlafphasen (vorwiegend in der ersten Nachthälfte) und REM-Schlafphasen (vorwiegend in der zweiten Nachthälfte) nimmt man an, dass sich Schlafentzug in der ersten Nachthälfte hauptsächlich auf die Funktion des deklarativen Gedächtnisses auswirkt, während sich Schlafentzug in der zweiten Nachthälfte hauptsächlich auf die Funktion des prozeduralen Gedächtnisses auswirkt. Die Unterteilung der Nacht in zwei Hälften und der zu experimentellen Zwecken vorgenommene Schlafentzug in einer der beiden Nachthälften ermöglicht nicht nur, dass Tiefschlaf- und REM-Schlafphasen unabhängig voneinander untersucht werden können, sondern reduziert auch Stress auslösende Effekte, die sich bei vollständigem Schlafentzug möglicherweise negativ auf die Gedächtnisleistung auswirken könnten. In Versuchen konnte unter Verwendung dieser Nachthälftenmethode gezeigt werden, dass Probanden mit frühem Schlaf (23.00 bis 2.00 Uhr) deutlich bessere Ergebnisse bei deklarativen Aufgaben erzielen im Vergleich zu Probanden mit spätem Schlaf (3.00 bis 7.00 Uhr), die wiederum bei motorischen Aufgaben besser abschließen (Plihal & Born, 1997). Andere Versuche zeigten, dass während des REM-Schlafs neue Assoziationen entstehen, die in den Wachzustand transferiert werden können (Hennevin, 1995), beispielsweise Codes, die sich in Zahlenreihen verbergen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass das Lernen

prozeduraler Inhalte durch REM-Schlaf-Deprivation gestört wird (Karnie et al., 1994). Auch wurden über die Zusammenhänge zwischen Tiefschlaf und Gedächtnis verschiedene Theorien postuliert. Es konnte gezeigt werden, dass hippocampale Neuronenverbände, die während des Lernens von deklarativem Wissen aktiv sind, auch während des nachfolgenden Tiefschlafs Aktivität zeigen (Wilson & McNaughton, 1994). Für die deklarative Gedächtnisbildung wird angenommen, dass im Wachzustand neue Informationen in kortikalen Arealen enkodiert und gleichzeitig auf den Hippocampus übertragen werden, wo sie gespeichert und vernetzt werden. Während des Tiefschlafs werden nun diese neu gespeicherten Informationen wiederholt aktiviert, was auch eine Aktivierung neokortikaler Verbindungen zur Folge hat (Buzsaki, 1998; Nadasdy, Hirase, Czurko, Csicsvari & Buzsaki, 1999). Es wird vermutet, dass Gedächtnisinhalte vom Hippocampus in neokortikale Netzwerke transferiert werden, wo sie permanent gespeichert werden. Dieser Transfer wird möglicherweise durch wiederholte Reaktivierung von im Hippocampus gespeicherten Informationen realisiert. Die wiederholten Reaktivierungen gehen mit hochfrequenten Neuronenentladungen im Hippocampus (sharp wave-ripple) einher. Diese treten in Verbindung mit langsam oszillierenden Wellen auf, die in neokortikalen Netzwerken entstehen und die Reaktivierung von im Hippocampus gespeicherten Informationen mit dem Auftauchen von Spindelaktivität in thalamokortikalen Netzwerken synchronisieren. Das synchrone Eintreffen beider Signale in neokortikalen Netzwerken führt zu plastischen Veränderungen an Synapsen, die an der Enkodierung der Informationen beteiligt waren (Born, Rasch & Gais, 2006). Es wird davon ausgegangen, dass die Reaktivierungen deklarativer Gedächtnisinhalte somit hauptsächlich während des Tiefschlafes zu einer Festigung neokortikaler Verbindungen führen, die nach einiger Zeit stark genug zu sein scheinen, um unabhängig vom Hippocampus zu fungieren. Man nimmt an, dass der präfrontale Kortex dann die Aufgabe der Verbindung und Integration der Gedächtnisinhalte übernimmt (Frankland & Bontempi, 2005). Ob im REM-Schlaf eine ähnliche Reaktivierung stattfindet, ist bis heute nicht abschließend geklärt, da nur wenige Studien diesbezüglich Hinweise erbringen konnten (Louie & Wilson, 2001). Obgleich das prozedurale Gedächtnis vorwiegend von REM-Schlaf, das deklarative Gedächtnis vorwiegend von Tiefschlaf profitiert, ist eine vollständige Trennung zwischen Konsolidierungsprozessen von REM- und Tiefschlaf nicht möglich. Bei einer von Stickgold (2000) durchgeführten visuellen Diskriminierungsaufgabe konnte nur eine Verbesserung erzielt werden, wenn sowohl ausreichend Tiefschlafphasen als auch REM-Phasen vorkamen. Es ist anzunehmen, dass sich die Zuordnung von Tief- und REM-Schlafphasen zu unterschiedlichen

Gedächtnissystemen bei einfach zu erfüllenden Aufgaben einhalten lässt. Bei komplexen Aufgaben scheint diese Trennung nicht möglich (Stickgold, 2000). Die double-step Theorie greift diesen Umstand auf und geht davon aus, dass sowohl Tiefschlaf als auch REM-Schlaf wichtig für die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten sind. Viele Hypothesen versuchen den gedächtnisverstärkenden Effekt von Schlaf zu erklären. Manche Forscher gehen davon aus, dass im Wachzustand viele Reize mit zuvor Gelerntem interferieren (z.B. Jenkins & Dallenbach, 1924). Während des Schlafes hingegen gibt es keine Interferenz durch ähnliche Informationen, was die labilen Gedächtnisspuren schützt. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass Gedächtnisspuren mit der Zeit zerfallen. Umso schneller, je stärker die kortikale Erregung ist. Da sie im Schlaf geringer ist, zerfallen Gedächtnisspuren im Schlaf langsamer (Ekstrand, Barrett, West & Maier, 1977). Schlaf stellt aus dieser Sicht einen Schutzfaktor für Engramme dar. Andererseits gibt es Anzeichen dafür, dass während des Schlafes ein aktiver Prozess aus Konsolidierung, Reorganisation und Manipulation kürzlich erworbener Informationen geschieht (Plihal & Born, 1997). Diverse Studien zeigen, dass es nach Schlaf nicht nur zu einem Erhalt von Gedächtnisleistung kommt, was den Theorien von reduzierter Interferenz und langsamem Zerfall nahe kommt, sondern sogar eine Verbesserung der Gedächtnisleistung im Vergleich zur Vorschlafsituation erreicht werden kann. Dies spricht dafür, dass aktive Prozesse während des Schlafes für das Gedächtnis von großer Bedeutung sind und dass zuvor gelernte Informationen im Sinne einer qualitativen Veränderung von Gedächtnisinhalten reorganisiert und verstärkt werden können. Die Reaktivierung von Gedächtnisinhalten im Hippocampus sowie der Transfer und die Integration der Repräsentationen in kortikale Netzwerke spielt aus heutiger Sicht bei der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten eine zentrale Rolle (Buzsaki, 1998). Es gibt Hinweise dafür, dass die gleichen neuronalen Aktivierungsmuster, die im Wachzustand bei der Enkodierung von Gedächtnisinhalten auftreten, sich im Schlaf wiederholen (Louie & Wilson, 2001; Nadasdy, Hirase, Czurko, Csicsvari & Buzsaki, 1999). Diese Wiederholung könnte zu einer ähnlichen Reaktivierung von neokortikalen Verbindungen und somit zu einer Verfestigung von Verbindungen führen, die für die langzeitliche Abspeicherung von Bedeutung sind (Buzsaki, 1998). Im Jahre 2000 machten Maquet et al. einen Versuch, bei dem die Aktivierungsmuster beim Lernen und im Schlaf mittels Positronenemissionstomographie (PET) aufgezeichnet wurden. Hirnareale, die während des Lernvorganges aktiv waren, zeigten im Schlaf ebenfalls Aktivität. Die Reaktivierung kann möglicherweise verstärkt werden, indem Reize im Schlaf dargeboten werden, die bereits während des Lernens angeboten wurden. In einem Versuch

von Guerrien (1989) wurden Probanden, die Morsecodes lernen sollten, im darauf folgenden Schlaf akustische „Klicks“ dargeboten, was zu einer Verbesserung der Gedächtnisleistung in Bezug auf die gelernten Morsecodes führte. Die lern-assoziierten Stimulationen führen möglicherweise zu einer stärkeren Reaktivierung und somit zu einer stärkeren Festigung von Gelerntem. Dass aktive Prozesse während des Schlafes für das Gedächtnis von großer Bedeutung sind, lässt sich auch daran erkennen, dass Schlaf, der auf Lernen folgt, an bestimmten Parametern selbst einige Veränderungen zeigt. So werden REM-Phasen beispielsweise länger und kommen öfter vor (Peigneux et al., 2001; Smith, 2001). Darüber hinaus scheinen die REM-NonREM Zyklen mit dem Lernerfolg in Bezug auf Anzahl und Dauer zu korrelieren. Während Schlafstadium 2 konnte bei Schlafenden, die eine Lerneinheit absolviert hatten, eine verstärkte Dichte an Spindeln beobachtet werden (Gais, Molle, Helms & Born, 2002). Dies wird möglicherweise durch eine stärkere Kommunikation zwischen Hippocampus und Kortex verursacht. Einige Forscher nehmen an, dass sich bei verschiedenen Hirnarealen unterschiedliche Schlafstadien zeigen (Kattler & Borbely, 1994). Hirnareale, die während des Wachseins stark beansprucht wurden, zeigten in der darauf folgenden Nacht höhere Amplituden und niedrigere Frequenzen von Delta-Wellen (1-4 Hz) und Slow-Wave Aktivität, was als tieferer Schlaf gedeutet werden kann. Man nimmt heute an, dass auch verschiedene neuroendokrinologische Faktoren bei der Schlafregulation eine Rolle spielen. Es ist bis heute nicht bekannt, wie diese Modulatoren funktionieren. Das Stresshormon Cortisol und Acetylcholin scheinen als Modulatoren eine wichtige Rolle zu spielen. Plihal und Born konnten 1999 zeigen, dass der Effekt der Konsolidierung von deklarativen Gedächtnisinhalten unter hohen Cortisolspiegeln während des Tiefschlafs aufgehoben wird. Ein niedriger Cortisolspiegel scheint also für Konsolidierungsprozesse des deklarativen Gedächtnisses von großer Bedeutung zu sein. Ähnliches konnte auch 2004 für Acetylcholin festgestellt werden. So konnte die Verbesserung des deklarativen Gedächtnisses durch einen Cholinesterase-Hemmer beeinträchtigt werden. Die komplexen Prozesse und Interaktionen, die zwischen diesen und anderen Neuromodulatoren wie z.B. Somatotropin oder Serotonin geschehen, sind weitestgehend unbekannt.

4. Fragestellung und Hypothese

Schlaf hat einen vorteilhaften Effekt auf die Konsolidierung neu erworbener Gedächtnisinhalte (Peigneux et al., 2001), was vermutlich darauf beruht, dass hippocampale Assoziationen in kortikale Netzwerke zwecks langzeitlicher Abspeicherung transferiert werden (Born et al., 2006). Dieser Effekt konnte bisher nur für das retrospektive Gedächtnis (RM) bewiesen werden. Das retrospektive Gedächtnis ist definiert als das Gedächtnis für Vergangenes. Es wird angenommen, dass die retrospektive Komponente des prospektiven Gedächtnisses wie das retrospektive Gedächtnis anzusehen ist und entsprechend durch schlafassoziierte Konsolidierungsprozesse positiv zu beeinflussen ist. Anders als das retrospektive Gedächtnis, das nach extern angebotenen Reizen explizit abgefragt werden kann, initiiert sich das prospektive Gedächtnis eigenständig nach einem Reiz, der als geeignet gilt (Einstein & McDaniel, 2000, 2005). Es kann sich dabei sowohl um Ereignisse als auch um Zeitpunkte oder Zeitspannen handeln (prospektiver Reiz). Die Bewältigung prospektiver Aufgaben kann durch unterschiedliche Strategien erfolgen. Eine Strategie zur prospektiven Erinnerung ist die Beobachtung der Umwelt (Monitoring), die ein bestimmtes Maß an Aufmerksamkeit bzw. die Ausführung präfrontaler Prozesse bei der Identifizierung prospektiver Reize voraussetzt. Es ist dabei nicht von einer positiven Beeinflussung durch Schlaf auszugehen. Anders verhält es sich bei der reflexiv-assoziativen Theorie (Spontaneous Retrieval Theory), die davon ausgeht, dass Gedächtnisinhalte spontan abgerufen werden, wenn man passenden prospektiven Reizen begegnet. Es wird dabei angenommen, dass Reize unter Einbeziehung assoziativer Netzwerke mit Handlungsabsichten derart verknüpft werden können, dass sie diese automatisch aktivieren können (McDaniel et al., 2004; Einstein et al., 2005). Die Aktivierungswahrscheinlichkeit ist dabei von der assoziativen Verknüpfung zwischen Reiz und gekoppelter Handlungsabsicht abhängig. Da diese durch schlafassoziierte Konsolidierungsprozesse gestärkt wird, ist von einer positiven Beeinflussung durch Schlaf auszugehen. Welche Strategie gewählt wird, ist von Merkmalen der Aufgabe sowie individuellen Unterschieden abhängig. Ändern sich die Merkmale einer prospektiven Aufgabe während ihrer Bewältigung, so ist davon auszugehen, dass sich unter Umständen auch die Strategie zur Bewältigung ändert. Soll beispielsweise zusätzlich zu einer prospektiven Aufgabe eine weitere Aufgabe simultan bearbeitet werden, so wäre es denkbar, dass zur Bearbeitung der prospektiven Aufgabe nicht genug Ressourcen zu Verfügung stehen, als dass sie durch Aufmerksamkeitsprozesse gelöst werden könnte. Die Folge wäre, dass auf Prozesse

zurückgegriffen wird, deren Funktion auf schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen basiert. Zusammenfassend soll verdeutlicht werden, dass das prospektive Gedächtnis in Abhängigkeit von der Bewältigungsstrategie nicht zwangsläufig von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen profitiert, sofern die Beobachtung der Umwelt und die dafür nötigen Aufmerksamkeitsprozesse aufrechterhalten werden können. Der Inhalt dieser Studie konzentriert sich auf die Fragestellung, inwieweit der Effekt der schlafassoziierten Konsolidierung, wie er für das retrospektive Gedächtnis vielfach beschrieben ist, auch an der Festigung prospektiver Gedächtnisinhalte beteiligt ist. Zusätzlich sollen die Ergebnisse auch unterstreichen, dass es verschiedene Strategien zur Bewältigung prospektiver Aufgaben gibt, in die unterschiedliche kognitive Prozesse und neuroanatomische Strukturen involviert sind. Es wird davon ausgegangen, dass sich das prospektive Gedächtnis aus einer prospektiven und einer retrospektiven Komponente zusammensetzt, die sich jeweils unterschiedlich durch Schlaf beeinflussen lassen. Darüber hinaus wird angenommen, dass die retrospektive Komponente des prospektiven Gedächtnisses dem retrospektivem Gedächtnis insofern gleichzusetzen ist, als dass die Funktionsabläufe identisch sind, nämlich die Suche nach passenden Gedächtnisinhalten. Es wird daher erwartet, dass die Aufgaben, die das Abrufen der retrospektiven Komponente verlangen, von Probanden der Schlafgruppe signifikant besser bewältigt werden als von Probanden der Wachgruppe. Ein Unterschied zwischen dem prospektiven und dem retrospektiven Gedächtnis ist die Initiierung der Erinnerung. Beim retrospektiven Gedächtnis wird einer Person ein Reiz extern angeboten, die schon weiß, dass es sich um den Reiz handelt, der eine Erinnerung generieren soll. Beim prospektiven Gedächtnis muss ein Reiz erst identifiziert werden, bevor Gedächtnisinhalte generiert werden können. Assoziationen, die diese Reize betreffen, werden im Schlaf konsolidiert. Es wird davon ausgegangen, dass Probanden der Schlafgruppe mit größerer Wahrscheinlichkeit Reize identifizieren als Probanden der Wachgruppe. Nach der 2-Prozess-Theorie gibt es verschiedene Strategien zur Bewältigung prospektiver Aufgaben. Die Monitoring Strategie scheint möglicherweise von Aufmerksamkeitsprozessen abhängig zu sein und auf der Ausführung frontal lokalisierter Funktionen zu beruhen, während die gedächtnisgestützte, automatische reflexiv-assoziative Strategie wahrscheinlich hippocampale Abhängigkeit besitzt (Einstein et. al, 2005). Wird strategisches Monitoring angewandt, so ist nicht von einem Vorteil durch Schlaf auszugehen. Wird den Probanden volle Aufmerksamkeit bei der Bearbeitung einer andauernden Aufgabe gewährt, in der prospektive Reize verborgen sind, so ist davon auszugehen, dass es ihnen gelingt, ihre Umwelt zuverlässig über einen längeren

Zeitraum auf Reize hin zu überprüfen, so dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen in Bezug auf die Identifizierung der Reize geben sollte. Die reflexiv-assoziative Strategie greift auf Gedächtnisinhalte zurück, die von der Funktion des Hippocampus abhängig sind. Diese Gedächtnisinhalte werden möglicherweise in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gefestigt, so dass von einer erfolgreicherer Funktion des prospektiven Gedächtnisses auszugehen ist. Wird Probanden nicht gewährt, sich voll zu konzentrieren, weil ihre Aufmerksamkeit beispielsweise durch das Lösen einer zusätzlichen Aufgabe von der prospektiven Aufgabe abgezogen wird, so wird davon ausgegangen, dass die Identifizierung von Reizen innerhalb der prospektiven Aufgabe von reflexiv-assoziativen Mechanismen abhängig ist. Probanden der Schlafgruppe sollten dann eine signifikant höhere Identifizierung der Reize aufweisen.

5. Methoden

5.1. Probanden

An den Versuchen nahmen 35 gesunde Erwachsene, davon 23 Männer und 12 Frauen, im Alter von 18 bis 35 Jahren teil, von denen alle eine normale Schlafdauer von 7 bis 9 Stunden und einen physiologischen Schlaf-Wach-Rhythmus in den letzten 6 Monaten vor den Versuchen aufwiesen. Sie wurden an der Universität zu Lübeck rekrutiert, aufgeklärt und für ihre Teilnahme bezahlt. Eine Einwilligungserklärung wurde schriftlich gesichert. Alle Probanden waren Nichtraucher, nahmen keine Medikamente und hatten keine psychischen oder neurologischen Erkrankungen. Sie wurden instruiert, keinen Alkohol oder koffeinhaltige Getränke bis zum Abschluss der experimentellen Untersuchungen zu sich zu nehmen, beginnend mit dem Tag vor der Experimentalnacht. Probanden der Schlafbedingung absolvierten eine Probenacht mit polysomnographischer Aufzeichnung. Die Versuche wurden durch die hiesige Ethikkommission bewilligt (Aktenzeichen 08-158).

5.2. Aufgaben

Kontrollvariablen

Zur Erfassung der subjektiven Schläfrigkeit diente die Stanford-Schläfrigkeitsskala. Probanden wurden bei Lern- und Abfrageeinheiten gebeten, ihre subjektiv empfundene Schläfrigkeit einer von insgesamt sieben möglichen Stufen zuzuordnen, die sich von *hellwach* bis *fast schon träumend* erstreckte. Als Index kognitiver Flexibilität wurde der Regensburger Wortflüssigkeitstest bei Lern- und Abfrageeinheiten durchgeführt. Probanden wurden hierbei gebeten, in einem Zeitraum von 2 Minuten so viele Wörter wie möglich mit einem vorgegebenen Anfangsbuchstaben niederzuschreiben. Zur Schlafkontrolle wurden über insgesamt 10 Elektroden die folgenden polysomnographischen Daten aufgezeichnet: Elektroenzephalogramm (EEG), Elektrookulogramm (EOG) und Elektromyogramm (EMG). Die digitale Aufzeichnung wurde unter Verwendung eines Brainamp Verstärkers von Brain Products® realisiert. Die Platzierung der EEG-Elektroden erfolgte nach dem 10-20 System an den Positionen C3 und C4. Die unipolare Aufzeichnung erfolgte zu einer an der Nase positionierten Referenzelektrode. EOG und EMG Aufzeichnungen erfolgten bipolar. Für das EOG wurden zur Aufzeichnung horizontaler sowie vertikaler Augenbewegungen zwei Elektroden an den Schläfen sowie ober- und unterhalb des rechten Auges positioniert. Für die Aufzeichnung des Muskeltonus (EMG) wurden Elektroden am Kinn positioniert. Darüber hinaus wurde eine Elektrode an der Stirn zur Erdung positioniert.

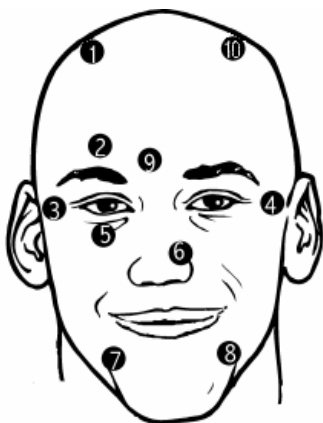


Abbildung 3: Positionen der Elektroden zur Polysomnographie.

1&10 = EEG; 2&5 = vertikal-EOG; 3&4 horizontal-EOG; 7&8 EMG; 6 = Referenz, 9 = Erdung.

Zur Analyse der Schlafaufzeichnungen wurde mittels des Computerprogramms SchlafAus (Gais, nicht publiziert) jede 30-Sekunden-Epoche visuell nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) einem Schlafstadium zugeordnet. Die Daten einer Versuchsperson mussten auf Grund fehlerhafter EEG-Aufzeichnung von der Analyse ausgeschlossen werden. Die nun folgenden Aufgaben wurden unter Anwendung von Computerprogrammen realisiert. Während der Lerneinheit führten die Versuchspersonen drei Aufgaben in festgelegter Reihenfolge aus: zunächst eine Aufgabe zur anhaltenden Aufmerksamkeit (Vigilanz), anschließend eine lexikalische Entscheidungsaufgabe und zum Abschluss eine Lernaufgabe, die darin bestand, zunächst eine bestimmte Anzahl an Wörtern zu lernen. Diese wurden für eine zweite Lernphase mit neuen Wörtern zu Wortpaaren kombiniert, die es ebenfalls zu lernen galt. Die Verknüpfung von dem zuerst gelernten Wort, dem Signalwort, mit dem gepaarten Wort, dem Zielwort, stand dabei für die Verknüpfung von Reiz und Handlungsabsicht in Bezug auf das prospektive Gedächtnis. Zur Bewertung der anhaltenden Aufmerksamkeit (Vigilanz) wurde eine Modifikation des Continuous Performance Tests von Rosvold (1956) durchgeführt. Die Präsentation des Testreizes erfolgte, indem ein 10mm großer Punkt in Abständen von 2, 4, 6, 8 oder 10 Sekunden willkürlich auf der linken oder rechten Bildschirmhälfte erschien. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, bei Erscheinen des Signals die jeweils entsprechende linke oder rechte Taste des Testgerätes so schnell wie möglich zu drücken. Von diesem Test gab es zwei Varianten: eine Gruppe erhielt rote Punkte, die andere grüne. Die Farbe der Kreise innerhalb der Aufgabe wurde für jeden Probanden nach einem Randomisierungsschema festgelegt. Die Dauer dieses Tests betrug etwa fünf Minuten. Den Versuchspersonen wurden unmittelbar während der Durchführung sowohl Reaktionszeiten in Millisekunden als auch eventuell auftretende Fehler durch das Signal "Falsch" angezeigt. Nach Beendigung der Vigilanzaufgabe wurde den Versuchspersonen eine lexikalische Entscheidungsaufgabe gestellt. Um sich mit der lexikalischen Entscheidungsaufgabe vertraut zu machen, wurden die Versuchspersonen beim ersten Durchlauf über den Ablauf der Aufgabe, nicht jedoch über ihren Bezug zum prospektiven Gedächtnis aufgeklärt. Ihnen wurden auf dem Bildschirm nacheinander 100 Wörter gezeigt, von denen 50 korrekte deutsche Wörter darstellten, die anderen 50 jedoch durch den Austausch eines Buchstabens geringfügig verändert worden waren, so dass sie im Deutschen keinen Sinn ergaben (Non-Wörter). Die Versuchsperson sollte bei Erscheinen eines korrekten Wortes die rechte, bei Erscheinen eines Non-Wortes die linke Taste drücken. Hierbei sollten sie so schnell und fehlerlos wie möglich reagieren. Die Dauer des Tests betrug

etwa 3 Minuten. Bei Lerneinheiten wurden insgesamt 20 Wörter (Signalwörter) in der Mitte des Bildschirms jeweils für 5 Sekunden mit einem Intervall von einer Sekunde nacheinander dargeboten. Waren alle 20 Wörter gezeigt worden, wurde die Versuchsperson aufgefordert, sie frei zu erinnern. Die Lerneinheit wurde so lange wiederholt, bis die Versuchspersonen in der Lage waren, 18 Wörter problemlos zu erinnern und somit ein 90% Kriterium zu erreichen. Die Wörter wurden dann mit zusätzlichen Wörtern (Zielwörter) gepaart. Diese zur Hälfte hoch, zur Hälfte niedrig assoziierten Paare wurden ebenfalls zu Lernzwecken visuell nacheinander dargeboten. Im Anschluss sollte nach den einzeln nacheinander dargebotenen Signalwörtern und dem Drücken der Leertaste das dazugehörige Zielwort in ein Feld eingegeben werden. Ein Kriterium von 60% wurde vorausgesetzt, ansonsten war die Lerneinheit zu wiederholen. Im Anschluss an die Lerneinheit, deren Dauer etwas 45 Minuten betrug, wurden den Probanden Instruktionen in Bezug auf das prospektive Gedächtnis gegeben, nämlich, dass man sie zwei Tage später noch einmal mit der lexikalischen Entscheidungsaufgabe konfrontieren würde. Sie wurden instruiert, dabei die von ihnen gelernten Signalwörter, wie bereits bekannt, durch Betätigen der Leertaste zu identifizieren (prospektive Komponente), wonach sie die Gelegenheit erhalten würden, das dazugehörige Zielwort einzugeben (retrospektive Komponente). Bei Nichtwissen konnte geraten bzw. die Buchstabenfolge "xxx" eingegeben werden. Zudem wurden sie darüber aufgeklärt, dass es bei der Vigilanzaufgabe zwei Varianten gegeben habe, bei denen entweder grüne oder rote Punkte dargeboten wurden. Die Versuchspersonen wurden instruiert, die Vigilanzaufgabe am Tag der Abfrage nur dann zu bearbeiten, wenn die Farbe der Kreise der jeweils anderen und nicht der vormals gezeigten entsprechen sollte. Diese Instruktion wurde nicht noch einmal wiederholt. Den Versuchspersonen wurde bei der Abfrage jedoch die in der Lerneinheit für sie bereits festgelegte Farbe der Kreise erneut angeboten. Für Probanden, die den Versuch gemäß der Instruktion daraufhin abbrechen, wurde der Versuch nun gemäß ihrer Erwartung durchgeführt. Die Personen, denen der "Fehler" entging, wurden nicht darauf hingewiesen und es wurde zur lexikalischen Entscheidungsaufgabe übergegangen. Diese umfasste bei der Abfrageeinheit 390 Wörter, zu gleichen Teilen existierende Wörter und Non-Wörter sowie die 20 gelernten Signalwörter. Diese Signalwörter wurden nach jedem 16. bis 20. Wort eingegeben. Die Versuchspersonen wurden nicht daran erinnert, dass die Signalwörter gelegentlich in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe auftauchen würden, und was sie tun sollten, wenn sie ein bekanntes Signalwort entdeckten. Nachdem den Versuchspersonen die Hälfte der Wörter gezeigt worden waren, wurde die Aktion unterbrochen. Jede

Versuchsperson wurde gebeten, eine zusätzliche Aufgabe während des ersten oder zweiten Teils des Tests auszuführen. Hierbei wurden den Versuchspersonen über Lautsprecher alle zwei Sekunden Nummern dargeboten. Die Versuchspersonen sollten bei Nennung zweier aufeinander folgender gerader Zahlen die Taste 1 drücken. Die Hälfte der Versuchspersonen führte diese duale Aufgabe während des ersten Teils der lexikalischen Entscheidungsaufgabe aus, die andere Hälfte während des zweiten Teils. Schließlich wurde überprüft, inwiefern die Signalwörter und ihre Zielwörter erinnert werden konnten. Zunächst durchliefen die Versuchspersonen einen Erkennungstest für die Signalwörter. Hierbei wurden die 20 Signalwörter mit 40 Wörtern gemischt und die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, für jedes einzelne Wort zu entscheiden, ob es sich um ein bekanntes Signalwort oder um ein neues Wort handelte (Wiedererkennung). Anschließend wurden alle 20 Signalwörter noch einmal präsentiert und die Versuchspersonen wurden gebeten, das korrespondierende Zielwort einzugeben (Erinnerung).

5.3. Design und Versuchsablauf

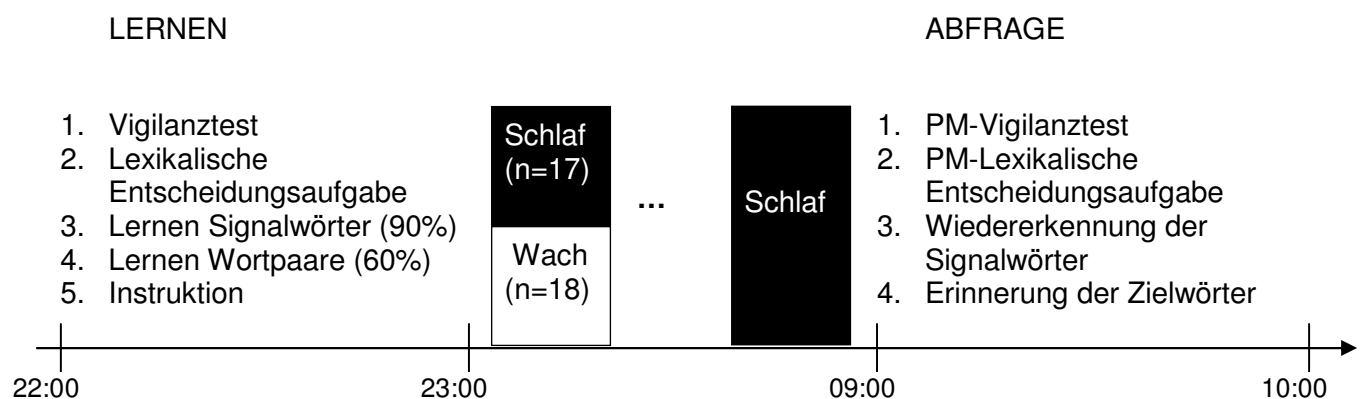


Abbildung 4: Versuchsablauf

Experimentelle Versuchsbedingungen wurden dergestalt festgelegt, dass für zwei Versuchsgruppen auf die oben beschriebene Lerneinheit jeweils eine Wach- oder eine Schlafereinheit gleicher Dauer folgen sollte. Die Wachgruppe sollte auch am darauf folgenden Tag den Schlaf nicht nachholen, sondern genau wie die Schlafgruppe erst in der darauf folgenden Nacht schlafen. Diese Erholungsnacht sollte Veränderungen an kognitiven Funktionen und Stimmungen durch Schlafentzug verhindern, die auf Gedächtnisleistung und

deren Erfassung einen ungünstigen Einfluss ausüben könnten (Pilcher & Huffcutt, 1996). Die Abfrage erfolgte für beide Gruppen am darauf folgenden Morgen um 9.00 Uhr. Die Probanden erhielten die Information, dass es sich bei der Studie um einen Gedächtnistest handele, der das Lernen von Wörtern und deren Abfrage nach Schlaf- bzw. Wachbedingungen zum Inhalt habe. Dass es sich bei der zu untersuchenden Gedächtnisleistung um das prospektive Gedächtnis handelt, wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht mitgeteilt. Jeder Proband nahm an nur einer der beiden Bedingungen teil. Die Lerneinheiten für Probanden, die an der Wachbedingung teilnahmen, wurden um 21.45 und 22.45 Uhr durchgeführt. Probanden, die an der Schlafbedingung teilnehmen sollten, trafen um 20.30 Uhr im Schlaflabor ein. Nachdem die Zustimmung, an der Studie teilzunehmen, und persönliche Daten schriftlich erfasst worden waren, wurden die Elektroden zur polysomnographischen Aufzeichnung angeschlossen. Die Lerneinheit wurde in einem geschlossenen Experimentalraum in ungestörter Atmosphäre durchgeführt. Die Lerneinheit wurde um 21.00 Uhr durchgeführt, so dass um 22.00 Uhr das Licht unmittelbar nach Beendigung der Lerneinheit ausgeschaltet werden konnte. Eine zweite Probandengruppe führte die Lerneinheit um 22.45 Uhr durch. Diese sollte ebenfalls unmittelbar nach Beendigung der Lerneinheit schlafen. Um 6.30 Uhr wurden die ersten Probanden geweckt, die Elektroden wurden entfernt, nachdem die Probanden den Fragebogen zur Schlafqualität ausgefüllt hatten. Fragebögen zur Tagesaktivität wurden ihnen beim Verlassen des Institutes um 6.45 Uhr mitgegeben. Die gleiche Prozedur wurde bei der zweiten Probandengruppe angewandt, die um 7.00 Uhr geweckt wurde und um 7.15 Uhr das Institut verlassen konnte. Beide Probandengruppen wurden dazu angehalten, die folgende Nacht normal zu schlafen. Für die Wachgruppe galt, dass Probanden um 21.45 sowie um 22.45 Uhr im Schlaflabor eintreffen sollten. Die Lerneinheit wurde für die Wachgruppe zu exakt gleichen Bedingungen wie bei der Schlafgruppe durchgeführt. Im Anschluss wurden die Probanden in sitzender Position bis 7.00 Uhr wach gehalten. Während dieser Zeit durften die Probanden fernsehen, lesen, spielen und anderen Aktivitäten nachgehen, die keine expliziten Lernprozesse zum Inhalt hatten. Beim Verlassen des Instituts wurde ihnen ein Fragebogen zur Tagesaktivität mitgegeben. Sie wurden gebeten, mindestens für die nächsten 12 Stunden wach zu bleiben und zwischen 20.00 und 23.00 Uhr zu Bett zu gehen und normal zu schlafen.

6. Ergebnisse

6.1. Statistik

Die Datenauswertung erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS für Windows®.

Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt. Zunächst wird auf die Ergebnisse der Kontrollvariablen eingegangen. Dann werden die Ergebnisse der Vigilanzaufgabe sowie die Ergebnisse zur Aufgabe zum prospektiven Gedächtnis aufgezeigt.

6.1.1. Probanden und Kontrollvariablen

Der Unterschied zwischen den Versuchsgruppen in Bezug auf Durchschnittsalter der Probanden, durchschnittliche Schlafdauer sowie der Dauer des nächtlichen Schlafes in der Vorversuchsnacht ist nicht signifikant. Die Daten aller 35 Probanden konnten verwendet werden.

Tabelle 1: Anzahl der Probanden in der Schlaf- und Wachbedingung, Durchschnittsalter mit Standardfehler.

	Schlaf	Wach	p-Wert
N	17	18	
Alter	23.53 ± .71	24.11 ± 1.04	.652
Schlaf normal (Stunden)	7.41 ± .20	7.53 ± .17	.665
Schlaf vor der Versuchsnacht (Stunden)	8.12 ± .35	8.03 ± .34	.854

Wie erwartet zeigte sich jedoch auf Grund des Effektes von Schlafentzug ein signifikanter Unterschied in der Schlafdauer von Wachprobanden während der Erholungsnacht. Ein signifikanter Unterschied in der Schlafqualität zwischen den Versuchsgruppen zeigte sich jedoch nicht.

Tabelle 2: Anzahl der geschlafenen Stunden und der Schlafqualität während der Erholungsnacht.

	Schlaf	Wach	p-Wert
Erholungsnacht (Stunden)	7.11 ± .32	8.67 ± .45	.009
Schlafqualität (Erholungsnacht)	4.41 ± .12	4.44 ± .12	.851

Die Ergebnisse der Stanford Schläfrigkeitsskala (SSS) zur Erfassung der Wachheit zeigten sowohl bei der Lerneinheit als auch bei der Abfrage zwischen den Versuchsgruppen, wie erwartet, keinen signifikanten Unterschied.

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardfehler der Stanford Schläfrigkeitsskala.

	Schlaf	Wach	p-Wert
SSS Lerneinheit	2.35 ± .26	2.17 ± .20	.570
SSS Abfrageeinheit	2.18 ± .21	2.50 ± .22	.298

Die Ergebnisse des Regensburger Wortflüssigkeitstests (RWT) zeigten sowohl bei der Lerneinheit wie auch bei der Abfrage zwischen den Versuchsgruppen keinen signifikanten Unterschied.

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardfehler des Regensburger Wortflüssigkeitstests.

	Schlaf	Wach	p-Wert
RWT Lerneinheit	15.94 ± 1.29	16.33 ± 4.84	.821
RWT Abfrageeinheit	17.88 ± 1.53	18.11 ± 1.24	.908

Die Ergebnisse der Vigilanzaufgabe zeigen, dass es sowohl in die Reaktionszeit (RZ) als auch in der Anzahl der Aktionsfehler (AF) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsgruppen gab.

Tabelle 5: Mittelwerte der Reaktionszeiten in Millisekunden sowie Anzahl der Fehler mit Standardfehlern.

	Schlaf	Wach	p-Wert
Vigilanz (RZ) Lerneinheit	318.05 ± 4.81	330.75 ± 6.94	.146
Vigilanz (RZ) Abfrageeinheit	327.76 ± 8.31	332.63 ± 6.93	.654
Vigilanz (AF) Lerneinheit	5.15 ± 1.02	7.36 ± 1.17	.164
Vigilanz (AF) Abfrageeinheit	2.94 ± .75	4.51 ± .80	.163

Es ist davon auszugehen, dass Schlaf- und Wachprobanden hinsichtlich Schläfrigkeit, Vigilanz und allgemeinen kognitiven Fähigkeiten zu Lern- als auch zu Abfrageeinheiten vergleichbar waren.

Die Ergebnisse der polysomnographischen Aufzeichnungen (Kap. 5) deuten darauf hin, dass Schlafprobanden in der auf die Lerneinheit folgende Nacht ordnungsgemäß geschlafen haben. Dauer und Verteilung der Schlafstadien sind unauffällig.

Tabelle 6: Schlafdaten der Schlafprobanden in der auf die Lerneinheit folgende Nacht. Angaben in Prozent bezogen auf die Gesamtschlafdauer (%) und in Minuten (min.).

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert		Standardabweichung
	Statistik	Statistik	Statistik	Statistik	Standardfehler	Statistik
Wach (%)	16	,40	37,30	7,0500	2,53908	10,15631
Schlafstadium 1 (%)	16	1,40	9,90	4,7938	,58477	2,33908
Schlafstadium 2 (%)	16	36,00	64,90	51,9063	1,92496	7,69982
Slow-wave-sleep (%)	16	6,90	24,10	17,8125	1,18666	4,74663
REM (%)	16	11,10	24,60	17,5375	1,01312	4,05247
Movement time (%)	16	,20	1,90	,9125	,11650	,46601
Wach (min.)	16	1,50	176,50	29,7813	11,38786	45,55142
Schlafstadium 1 (min.)	16	5,50	45,00	20,5625	2,58436	10,33743
Schlafstadium 2 (min.)	16	150,00	289,00	221,5000	10,22110	40,88439
Slow-wave-sleep (min.)	16	32,50	107,50	75,1250	4,89419	19,57677
REM (min.)	16	38,50	123,00	75,6250	5,59213	22,36850
Movement time (min.)	16	1,00	8,50	3,9063	,49628	1,98510
Gesamtschlafdauer (min.)	16	347,00	516,50	426,5000	11,28485	45,13941
Slow-wave-sleep_Latenz	16	11,50	113,50	25,1563	6,31297	25,25188
REM_Latenz	16	56,00	245,50	113,6250	13,33280	53,33120
Gültige Werte	16					

6.1.2. Ergebnisse zu Lerneinheiten

Die Ergebnisse der Lerneinheit zeigen, dass es weder signifikante Unterschiede in der Anzahl benötigter Lernzyklen bis zum Erreichen des Kriteriums gab, noch in der Anzahl frei erinnerter Wörter. Dies gilt sowohl für Ziel- als auch für Signalwörter. Es zeigte sich die Tendenz, dass die Probanden der Wachgruppe im Schnitt weniger Zielwörter frei erinnern konnten.

Tabelle 7: Mittelwerte der benötigten Lernzyklen und Durchschnittswerte der im letzten Zyklus frei erinnerten Signal- bzw. Zielwörter.

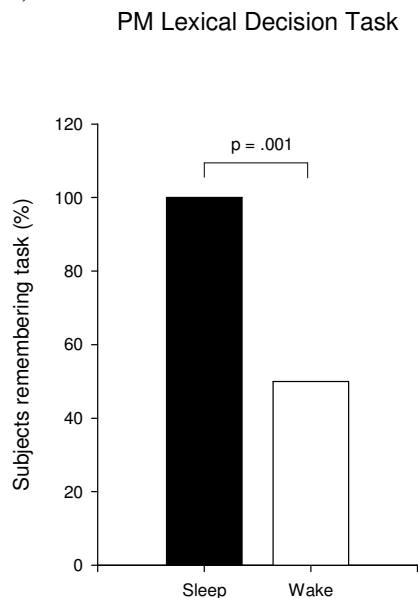
	Schlaf	Wach	p-Wert
Lernen Signalwörter	18.71 ± .19	18.83 ± .18	.632
Zyklen Signalwörter	2.18 ± .25	2.61 ± .28	.256
Lernen Zielwörter	16.71 ± .68	15.11 ± .63	.094
Zyklen Zielwörter	1.29 ± .11	1.22 ± .10	.639

6.1.3. Ergebnisse zu Aufgaben mit prospektivem Inhalt

1. Erinnerung der Instruktion

Die Ergebnisse bezüglich der Erinnerung an die Instruktionen zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (Instruktion bezüglich der lexikalischen Entscheidungsaufgabe: $p = .001$; Instruktion bezüglich der Vigilanzaufgabe: $p = .004$). Die Instruktion bezüglich der lexikalischen Entscheidungsaufgabe wurde von allen 17 Schlafprobanden korrekt ausgeführt (100%), während von den 18 Wachprobanden 9 diese Instruktion korrekt ausführten (50%). Die Instruktion bezüglich der Vigilanzaufgabe wurde von allen 17 Schlafprobanden korrekt ausgeführt (100%), während von 18 Wachprobanden 11 die Instruktion korrekt ausführten (61,1%).

5)



6)

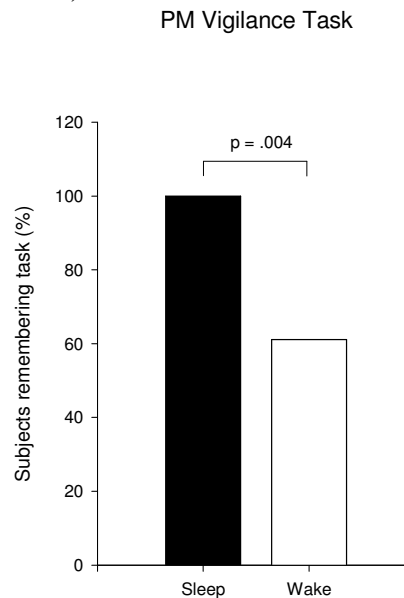


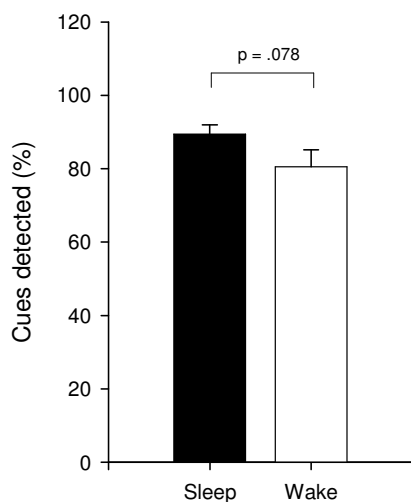
Abbildung 5: Erinnern der Instruktion bezüglich der lexikalischen Entscheidungsaufgabe. Anzahl von Probanden der Schlafgruppe (schwarz) und der Wachgruppe (weiß), die die Instruktion korrekt ausgeführt haben.

Abbildung 6: Erinnern der Instruktion bezüglich der Vigilanzaufgabe. Anzahl von Probanden der Schlafgruppe (schwarz) und der Wachgruppe (weiß), die die Instruktion korrekt ausgeführt haben.

2. Identifizierung von Signalwörtern / Prospektive Komponente

Die Versuchsgruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl identifizierter Signalwörter innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe ($p = .078$). Probanden der Wachgruppe identifizierten im Mittel 80% der angebotenen Signalwörter (Mittelwert: 16.11; Standardfehler: .91). Probanden der Schlafgruppe identifizierten im Mittel 89.4% der angebotenen Signalwörter (Mittelwert 17.88; Standardfehler: .50). Darüber hinaus wurden alle Signalwörter in der darauf folgenden letzten Abfrage (Kap. 5.2) von allen Probanden beider Versuchsgruppen identifiziert.

7)



8)

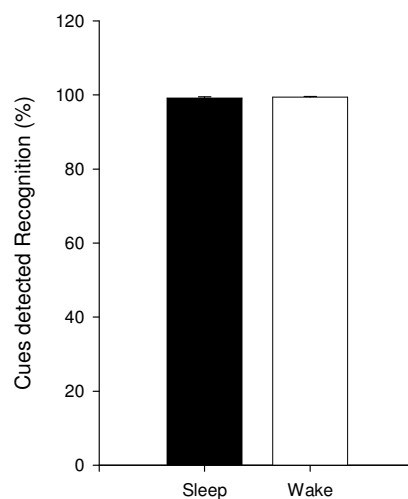


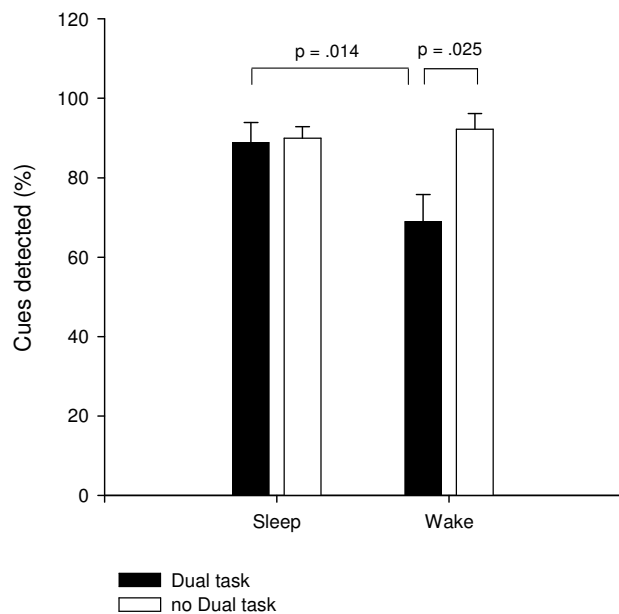
Abbildung 7: Identifizierung von Signalwörtern. Anzahl von Signalwörtern in Prozent, die innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe von Probanden der Schlafgruppe (schwarz) und Probanden der Wachgruppe (weiß) mit Betätigung der Leertaste erwidert wurden.

Abbildung 8: Anzahl identifizierter Signalwörter bei der letzten Abfrage.

Die Ergebnisse zeigen, dass es bei der Bewältigung der lexikalischen Entscheidungsaufgabe (No-dual-Task) zwischen den Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Anzahl identifizierter Signalwörter gab. Probanden der Schlafgruppe zeigten keine signifikante Verschlechterung in Bezug auf die Anzahl identifizierter Signalwörter innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe, wenn zusätzlich simultan eine akustische Aufgabe bewältigt werden sollte (Dual-Task). Probanden der Wachgruppe zeigten eine signifikante Verschlechterung ($p = .025$) ihrer Leistung in Bezug auf die Anzahl identifizierter Signalwörter innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe, wenn simultan eine akustische Aufgabe (Dual-Task) bewältigt werden sollte. Probanden der Wachgruppe

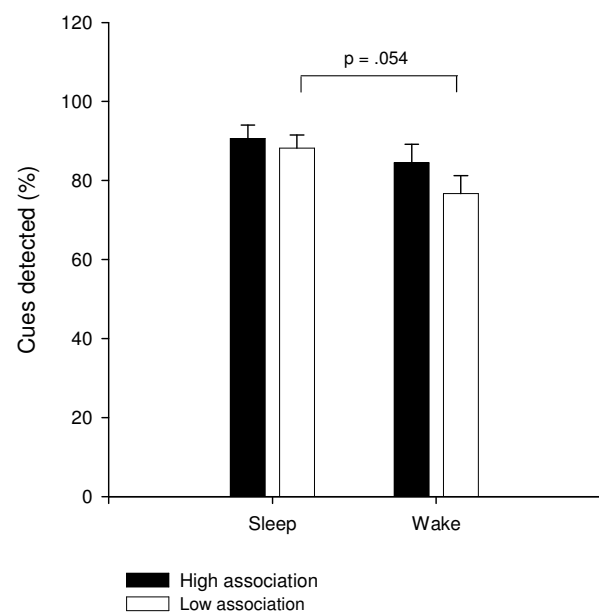
erwiderten in der einfachen lexikalischen Entscheidungsaufgabe (No-dual-Task) über 90% der angebotenen Signalwörter mit Betätigung der Leertaste. Bei zusätzlich zu bewältigender akustischer Aufgabe (Dual-Task) wurden 70% der angebotenen Signalwörter mit Betätigung der Leertaste erwidert. Im Vergleich zur Schlafgruppe zeigte die Wachgruppe eine signifikant schlechtere Leistung ($p = .014$) in Bezug auf die Anzahl identifizierter Signalwörter innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe, wenn zusätzlich eine akustische Aufgabe bewältigt werden sollte (Dual-Task). Es zeigte sich die Tendenz, dass niedrig assoziierte Signalwörter von Probanden der Wachgruppe seltener identifiziert wurden als hoch assoziierte Signalwörter.

9)



Dual task
 $p = .022$
 Condition x Dual task
 $p = .037$

10)



Condition
 $p = .078$
 Association
 $p = .101$
 Condition x Association
 $p = .383$

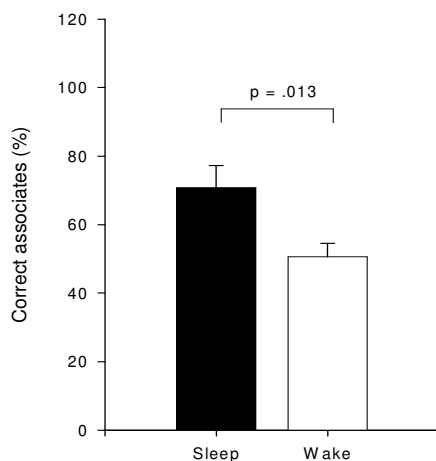
Abbildung 9: Anzahl identifizierter Signalwörter in No-dual-Task- (weiß) und Dual-Task Bedingung (schwarz) von Probanden der Schlaf- (links) und Wachgruppe (rechts).

Abbildung 10: Anzahl identifizierter Signalwörter in Abhängigkeit von einem hohen (schwarz) bzw. niedrigen (weiß) Assoziationsgrad zwischen Signal- und dazu passenden Zielwörtern.

3. Erinnern der Handlungsabsicht / Retrospektive Komponente

Probanden der Schlafgruppe gaben innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe nach Betätigung der Leertaste im Vergleich zur Wachgruppe signifikant häufiger die erwarteten Zielwörter korrekt wieder ($p = .013$). Die Schlafgruppe gab in 70% der Fälle nach Betätigung der Leertaste das erwartete Zielwort korrekt wieder, die Wachgruppe in 50% der Fälle. Probanden der Schlafgruppe gaben die erwarteten Zielwörter in der letzten Abfrage signifikant häufiger wieder als Probanden der Wachgruppe ($p = .013$). Probanden der Schlafgruppe gaben im Mittel 14.64 von 20 (73.2%) erwarteten Zielwörtern korrekt wieder. Probanden der Wachgruppe gaben im Mittel 11.55 von 20 (57.8%) erwarteten Zielwörtern korrekt wieder.

11)



12)

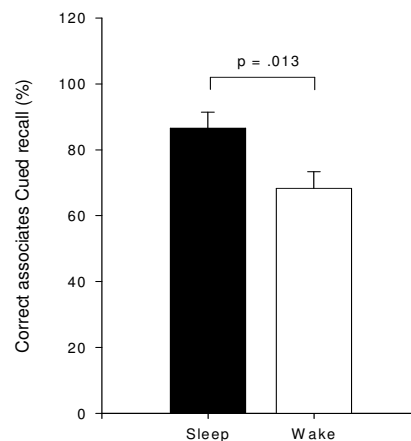


Abbildung 10: Anzahl korrekt wiedergegebener Zielwörter innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe von Schlaf- (schwarz) und Wachprobanden (weiß).

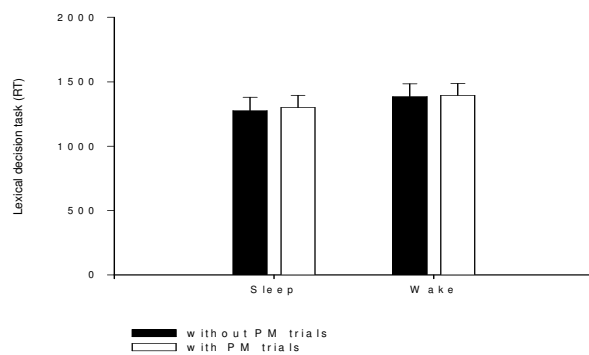
Abbildung 11: Anzahl korrekt wiedergegebener Zielwörter bei der letzten Abfrage von Schlaf- (schwarz) und Wachprobanden (weiß).

4. Bewältigung der lexikalischen Entscheidungsaufgabe

Die Zeit, die Probanden im Mittel für eine lexikalische Entscheidung benötigten, wurde in Millisekunden sowohl bei der Lerneinheit (keine prospektive Aufgabe enthalten) als auch bei der Abfrage (prospektive Aufgabe enthalten) gemessen. Der Vergleich beider Versuchsgruppen zeigte weder zur Lern- noch zur Abfrageeinheit einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die von Probanden im Mittel benötigte Zeit. Innerhalb einer Gruppe

und zwischen den beiden Bedingungen (Lern- und Abfrageeinheit) konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die für eine lexikalische Entscheidung benötigte Zeit nachgewiesen werden. Wachprobanden, die die Instruktion bezüglich der lexikalischen Entscheidungsaufgabe vergessen hatten, wendeten weniger Zeit auf, um zu entscheiden, ob es sich um ein korrektes Wort oder um ein Non-Wort handelte. Beide Versuchsgruppen zeigten während der Bewältigung der Dual-Task eine signifikante Verlangsamung der Geschwindigkeit, mit der über die lexikalische Existenz von Wörtern entschieden wurde ($p < .001$).

13)



14)

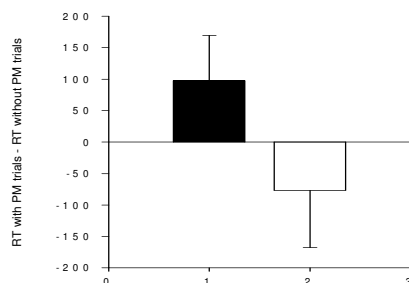
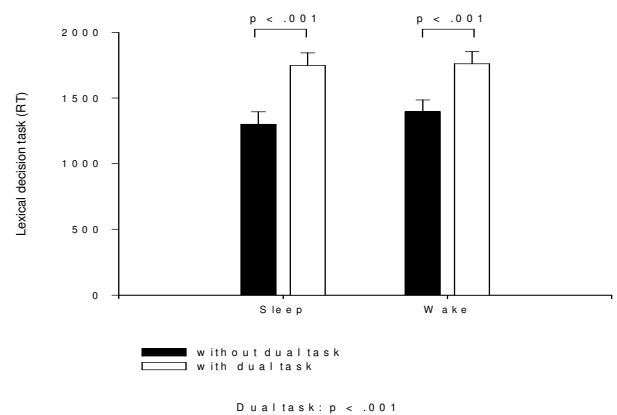


Abbildung 13: Benötigte Zeit, um zu entscheiden, ob es sich um ein korrektes Wort oder um ein Non-Wort handelt. Die Zeiten wurden während der Lerneinheit (schwarz; ohne prospektive Aufgabe) und während der Abfrageeinheit (weiß; mit prospektiver Aufgabe) von Schlafprobanden (links) und Wachprobanden (rechts) gemessen.

Abbildung 14: Benötigte Zeit im Mittel, um zu entscheiden, ob es sich um ein korrektes Wort oder um ein Non-Wort handelt. Die Zeiten wurden während der Bewältigung der No-dual-Task Bedingung (schwarz) und der Dual-Task Bedingung (weiß) von Probanden der Schlaf- (links) und der Wachgruppe (rechts) gemessen.

Abbildung 15: Veränderungen in der Geschwindigkeit, mit der entschieden wurde, ob es sich um ein korrektes Wort oder um ein Non-Wort handelt. Zeiten wurden während der lexikalischen Entscheidungsaufgabe (schwarz) und während der lexikalischen Entscheidungsaufgabe, bei der die prospektive Aufgabe nicht abgerufen werden konnte (weiß), gemessen.

7. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass schlafassoziierte Gedächtniskonsolidierung einen vorteilhaften Effekt auf die Funktion des prospektiven Gedächtnisses ausübt. Einstein und McDaniel (1990) zufolge, setzt sich das prospektive Gedächtnis aus einer prospektiven und einer retrospektiven Komponente zusammen. Die prospektive Komponente beschreibt, dass etwas erinnert werden soll (intent). Die retrospektive Komponente beschreibt den Inhalt dessen, was erinnert werden soll (content), nämlich die Handlungsabsicht. Die Komponenten sind getrennt untersucht worden, weil die erfolgreiche Funktion des prospektiven Gedächtnisses sowohl die Identifizierung prospektiver Reize, und damit die Initiierung der prospektiven Gedächtnisleistung, als auch die erfolgreiche Generierung vormals gespeicherter Gedächtnisinhalte voraussetzt. Es konnte gezeigt werden, dass Probanden der Schlafgruppe den retrospektiven Anteil der Aufgaben, die den Abruf gelernter Zielwörter verlangten, erfolgreicher bewältigten als Probanden der Wachgruppe. Die retrospektive Komponente des prospektiven Gedächtnisses ist dem retrospektiven Gedächtnis insofern gleichzusetzen, als die Funktionsabläufe identisch sind, nämlich die Suche nach passenden Gedächtnisinhalten, und vermutlich entsprechend durch schlafassoziierte Konsolidierungsprozesse positiv zu beeinflussen. Beim retrospektiven Gedächtnis wird ein Reiz einer Person extern angeboten, die schon weiß, dass es sich um den Reiz handelt, der eine Erinnerung generieren soll. Beim prospektiven Gedächtnis muss ein Reiz erst identifiziert werden, bevor Gedächtnisinhalte generiert werden können. Nur so ist es möglich, Handlungsabsichten in die Zukunft zu verlagern, um sie zu bestimmten Zeitpunkten in die Tat umzusetzen. Instruktionen zu Aufgaben mit prospektiven Inhalten wurden von Schlafprobanden im Vergleich zu Wachprobanden signifikant häufiger erfolgreich abgerufen, was darauf hindeutet, dass die Initiierung des prospektiven Gedächtnisses von Prozessen abhängig ist, die von Schlaf profitieren. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich bei der Grundlage dieser Prozesse um assoziative Verknüpfungen handelt, die möglicherweise in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gestärkt werden. Von der assoziativen Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht wird angenommen, dass sie bei auftretendem Reiz für die Initiierung des prospektiven Gedächtnisses verantwortlich ist, auf die die Aktivierung der gekoppelten Handlungsabsicht folgt. Es ist davon auszugehen, dass Assoziationen in neuronalen Netzwerken, die in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gefestigt werden, nicht nur an der Verknüpfung zwischen Reizen und Handlungsabsichten

beteiligt sind, sondern auch an der Funktion, die prospektive Aufgabe bewusst werden zu lassen, bevor ein prospektiver Reiz auftritt. Es ist daher denkbar, dass sich Probanden möglicherweise vor Auftreten des prospektiven Reizes durch Aktivität in neuronalen Netzwerken über die prospektive Aufgabe bewusst wurden. Demnach war es ihnen möglich, Reize zu antizipieren, um vorgefasste Handlungsabsichten zu realisieren. Denkbar wäre auch, dass das Bewusstmachen der prospektiven Aufgabe zu einer Verstärkung der Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht führt, was eine erhöhte Wahrscheinlichkeit in Bezug auf die Identifizierung des prospektiven Reizes zur Folge hätte, ohne dass die Suche nach passenden Reizen in den Fokus der Aufmerksamkeit gerät. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der ein prospektiver Reiz erkannt wird, nicht nur von der assoziativen Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht abhängt, sondern auch von Assoziationen, die es ermöglichen, sich über die prospektive Aufgabe bewusst zu werden, bevor der prospektive Reiz auftritt. Diese Verknüpfungen stellen vermutlich deklarative Gedächtnisinhalte dar. Man nimmt an, dass sie in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gestärkt werden. Ziel dieser Studie war aber nicht nur, den Zusammenhang von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen in Bezug auf die Funktion (Initiierung und Ausführung) des prospektiven Gedächtnisses zu beleuchten, sondern auch zu erforschen, welche Strategien bei der Bewältigung prospektiver Gedächtnisleistungen verwendet werden. Ändern sich die Merkmale einer prospektiven Aufgabe während ihrer Bewältigung, so ist davon auszugehen, dass sich unter Umständen auch die Strategie zur Bewältigung ändert. Wenn Probanden der Wachgruppe sich an die Instruktion bei der Abfrage erinnern konnten, so zeigten sie keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zur Schlafgruppe, was die Anzahl der identifizierten Reize innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe betraf. Es ist davon auszugehen, dass den Probanden beider Versuchsgruppen genug Ressourcen zur Verfügung standen, um ihre Aufmerksamkeit auf die Identifizierung von Signalwörtern innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe zu richten. Der Vergleich beider Versuchsgruppen zeigte keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Zeit, die Probanden im Mittel für eine Entscheidung über die lexikalische Existenz eines Wortes innerhalb der lexikalischen Entscheidungsaufgabe (Ongoing Task) benötigten. In einem zweiten Schritt wurde die Aufmerksamkeit geteilt und somit wurden Ressourcen erschöpft, indem eine weitere Aufgabe zusätzlich von den Probanden gelöst werden sollte. Beide Versuchsgruppen zeigten während der Bewältigung der Dual-Task eine signifikante Verlangsamung der Geschwindigkeit, mit der über die lexikalische Existenz von

Wörtern entschieden wurde. Es ist davon auszugehen, dass Aufmerksamkeitsressourcen für die Bewältigung der simultan zu bewältigenden akustischen Aufgabe bereitgestellt bzw. von der lexikalischen Entscheidungsaufgabe abgezogen wurden. Die Ergebnisse dieser dualen Aufgabe zeigen auch, dass Probanden der Schlafgruppe signifikant mehr Reize identifizieren konnten als Probanden der Wachgruppe. Es ist anzunehmen, dass die Strategie zur Bewältigung der prospektiven Aufgabe nun weniger auf Aufmerksamkeitsprozessen basierte, weil die Beobachtung der Umwelt nach Reizen auf Grund mangelnder Ressourcen nicht optimal aufrechterhalten werden konnte. Möglicherweise wurde die prospektive Aufgabe nun mehr durch automatische reflexiv-assoziative Prozesse bewältigt. Diese sind wiederum von hippocampalen Assoziationen abhängig, die im Schlaf konsolidiert werden. Ein möglicher Grund für die signifikante Verschlechterung der Leistung von Probanden der Wachgruppe könnte sein, dass die dafür notwendigen assoziativen Verknüpfungen weniger gut gefestigt wurden. Welche Strategie bei der Bewältigung prospektiver Aufgaben im Vordergrund steht, hängt dabei von Merkmalen der Aufgabe sowie von individuellen Unterschieden ab. Prospektive Aufgaben, die nicht-fokale Reize enthalten oder einen niedrigen Assoziationsgrad zwischen Reizen und dazugehörigen Intentionen aufweisen, werden möglicherweise eher durch Aufmerksamkeitsprozesse gelöst, während fokale Reize und Reize, die zu passenden Intentionen hoch assoziiert sind, durch reflexiv-assoziative Prozesse erkannt werden. Die Ergebnisse dieser Studie konnten nicht bestätigen, dass Reize, die zu passenden Intentionen hoch assoziiert waren, signifikant häufiger identifiziert wurden. Eine mögliche Erklärung könnte der Umstand sein, dass vermeintlich niedrig assoziierte Reize interessanter als hoch assoziierte wahrgenommen werden und möglicherweise aufwändiger abgespeichert werden. Es ist denkbar, dass der Einfluss jedes einzelnen Faktors, der wiederum von der Empfindlichkeit eines Individuums in Bezug auf den entsprechenden Faktor abhängig ist, die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Strategie zur Anwendung kommt, beeinflusst. Die Ergebnisse dieser Studie sollen verdeutlichen, dass die Funktion des prospektiven Gedächtnisses auf Grund seiner Komplexität von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist. Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass assoziative Verknüpfungen, die an der Initiierung prospektiver Gedächtnisleistungen beteiligt sind, in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gefestigt werden. Diese scheinen aber nicht für die Identifizierung von Reizen nötig zu sein, wenn der Reiz bekannt ist, weil die Aufgabe ins Bewusstsein gelangt ist und die Suche nach passenden Reizen in den Fokus der Aufmerksamkeit rückt. Diese Hinweise unterstützen die 2-Prozess-Theorie, die einen integrativen Lösungsansatz

zwischen der Monitoring und der reflexiv-assoziativen Theorie in Abhängigkeit von der Aufgabe und ihrer Wichtigkeit, dem Individuum selbst, sowie weiteren Faktoren sucht. Es ist jedoch anzunehmen, dass es unter Umständen assoziative Prozesse sind, die den Inhalt einer prospektiven Aufgabe, also den Reiz und die Handlungsabsicht, vor dem auslösenden Reiz ins Bewusstsein bringen, so dass die Suche nach passenden Reizen (Monitoring) überhaupt in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen kann. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Monitoring-Strategie einen Teil eines Prozesses darstellt, der von Assoziationen in neuronalen Netzwerken gestartet und von Aufmerksamkeitsprozessen weitergeführt wird oder die Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht stärkt. Wenn einem Patienten beispielsweise um 14.00 Uhr einfällt, dass er seine Medikation einnehmen muss, so hat der prospektive Reiz, in dem Falle die Uhrzeit, eine Handlungsabsicht ausgelöst. Die Verknüpfung basiert auf Assoziationen in neuronalen Netzwerken, die in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gefestigt werden. Darüber hinaus wäre es denkbar, dass andere Reize die prospektive Aufgabe, also den zu identifizierenden Reiz und die vorgefasste Handlungsabsicht um 13.45 Uhr bereits bewusst werden lassen. Es wäre denkbar, dass die Zeit ständig im Auge behalten wird, bis der Reiz eintritt (14.00 Uhr). Wird die prospektive Aufgabe um 11.00 Uhr bewusst, so muss man annehmen, dass die Zeitspanne bis zum Eintreten des prospektiven Reizes und der damit verbundenen Handlungsabsicht zu lang ist, als dass die Suche nach dem Reiz im Fokus der Aufmerksamkeit beizubehalten wäre. Denkbar wäre aber, dass das Bewusstwerden der prospektiven Aufgabe die Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht stärkt, so dass die Wahrscheinlichkeit, mit der der auftretende prospektive Reiz auch nach Ablenkung erkannt wird, steigt. Möglicherweise führt eine schwache Ausprägung assoziativer Verknüpfungen zu einem Fehlschlag prospektiver Gedächtnisleistungen, weil das Bewusstwerden einer prospektiven Aufgabe im Vorfeld ausbleibt und die Verknüpfung zwischen Reiz und Handlungsabsicht nicht stark genug ist, als dass Handlungsabsichten von prospektiven Reizen automatisch aktiviert werden könnten. Die Verknüpfung von Reiz und Handlungsabsicht stellt höchstwahrscheinlich eine deklarative, episodische Gedächtnisleistung dar, die vermutlich von einer assoziativen Verknüpfung in hippocampalen Netzwerken repräsentiert wird. Man kann annehmen, dass das prospektive Gedächtnis hauptsächlich von Tiefschlafphasen profitieren dürfte, in denen der Transfer von hippocampalen Assoziationen in neokortikale Netzwerke vermutet wird. Dies gilt es, in weiteren Studien zu erforschen.

8. Zusammenfassung

Der Inhalt dieser Studie konzentriert sich auf den Einfluss schlafassoziiertes Gedächtniskonsolidierung auf das prospektive Gedächtnis. Es wird davon ausgegangen, dass sich das prospektive Gedächtnis aus einer prospektiven und einer retrospektiven Komponente zusammensetzt. Die prospektive Komponente beschreibt, dass etwas erinnert werden soll (intent). Die retrospektive Komponente beschreibt den Inhalt dessen, was erinnert werden soll (content), nämlich die Handlungsabsicht. Die Komponenten sind getrennt untersucht worden, weil die erfolgreiche Funktion des prospektiven Gedächtnisses sowohl die Identifizierung prospektiver Reize, und damit die Initiierung der prospektiven Gedächtnisleistung, als auch die erfolgreiche Generierung vormals gespeicherter Gedächtnisinhalte voraussetzt. Darüber hinaus wird angenommen, dass die retrospektive Komponente des prospektiven Gedächtnisses dem retrospektiven Gedächtnis insofern gleichzusetzen ist, als die Funktionsabläufe identisch sind, nämlich die Suche nach passenden Gedächtnisinhalten. Beim retrospektiven Gedächtnis wird einer Person ein Reiz extern angeboten, die schon weiß, dass es sich um den Reiz handelt, der eine Erinnerung generieren soll. Beim prospektiven Gedächtnis muss ein Reiz erst identifiziert werden, bevor Gedächtnisinhalte generiert werden können. Assoziationen, die diese Reize betreffen, werden im Schlaf konsolidiert. Die Bewältigung prospektiver Aufgaben kann durch unterschiedliche Strategien erfolgen. Eine Strategie zur prospektiven Erinnerung ist die Beobachtung der Umwelt (Monitoring), die ein bestimmtes Maß an Aufmerksamkeit bzw. die Ausführung präfrontaler Prozesse bei der Identifizierung prospektiver Reize voraussetzt. Anders verhält es sich bei der reflexiv-assoziativen Theorie (Spontaneous Retrieval Theory), die davon ausgeht, dass Gedächtnisinhalte spontan abgerufen werden, wenn man passenden prospektiven Reizen begegnet. Es wird dabei angenommen, dass Reize unter Einbeziehung assoziativer Netzwerke mit Handlungsabsichten derart verknüpft werden, dass sie diese automatisch aktivieren können. Die Aktivierungswahrscheinlichkeit ist dabei von der assoziativen Verknüpfung zwischen Reiz und gekoppelter Handlungsabsicht abhängig. Diese werden in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gestärkt. Ändern sich die Merkmale einer prospektiven Aufgabe während ihrer Bewältigung, so ist davon auszugehen, dass sich unter Umständen auch die Strategie zur Bewältigung ändert. Soll beispielsweise zusätzlich zu einer prospektiven Aufgabe eine weitere Aufgabe simultan bearbeitet werden, so wäre es denkbar, dass zur Bearbeitung der prospektiven Aufgabe nicht genug Ressourcen zu Verfügung stehen,

als dass sie durch Aufmerksamkeitsprozesse gelöst werden könnte. Die Folge wäre, dass auf Prozesse zurückgegriffen wird, deren Funktion auf schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen basiert. Aus diesem Modell lassen sich folgende Hypothesen ableiten: Es wird davon ausgegangen, dass Probanden einer Schlafgruppe, im Vergleich mit Probanden einer Wachgruppe, prospektive Aufgaben mit größerer Wahrscheinlichkeit erfolgreich lösen, weil die Initiierung des prospektiven Gedächtnisses von der assoziativen Verknüpfung zwischen Reiz und gekoppelter Handlungsabsicht abhängig ist, die in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gestärkt wird. Wird Probanden einer Wachgruppe volle Aufmerksamkeit bei der Lösung einer prospektiven Aufgabe gestattet, so sind keine Unterschiede im Vergleich zu Probanden der Schlafgruppe bezüglich der Identifizierung von prospektiven Reizen zu erwarten, weil Aufmerksamkeitsprozesse unter Einbeziehung frontaler Hirnareale unabhängig von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen ablaufen. Wird Probanden nicht die volle Aufmerksamkeit gestattet, weil diese beispielsweise durch das Lösen einer zusätzlichen Aufgabe von der prospektiven Aufgabe abgezogen wird, so wird davon ausgegangen, dass die Identifizierung von Reizen innerhalb der prospektiven Aufgabe von assoziativ-reflexiven Mechanismen abhängig ist. Probanden einer Schlafgruppe sollten dann eine signifikant höhere Identifizierung der Reize aufweisen, weil reflexiv-assoziative Mechanismen von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen profitieren. Aufgaben, die das Abrufen der retrospektiven Komponente verlangen, sollten von Probanden einer Schlafgruppe signifikant besser bewältigt werden als von Probanden einer Wachgruppe, weil die retrospektive Komponente wie das retrospektive Gedächtnis anzusehen ist, welches von schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen profitiert. Diese Hypothesen konnten in den Versuchen bestätigt werden. Probanden lernten dafür in einer Lerneinheit so genannte Signalwörter auswendig, die mit weiteren Wörtern, so genannten Zielwörtern, zu Wortpaaren zusammengesetzt und ebenfalls gelernt wurden. Das Auftauchen von bekannten Signalwörtern in einer visuellen Diskriminierungsaufgabe, die in einer Abfrageeinheit zwei Tage nach der Lerneinheit durchgeführt wurde, sollte das prospektive Gedächtnis initiieren und zum Abrufen der Zielwörter führen. Dass die Signalwörter innerhalb der visuellen Diskriminierungsaufgabe auftauchen würden, wurde den Probanden nur bei der Lern-, nicht aber bei der Abfrageeinheit mitgeteilt. Zusätzlich wurden den Probanden auch Informationen zur Bearbeitung einer Vigilanzaufgabe nur zu Lerneinheiten mitgeteilt, die es bei Abfrageeinheiten zu erinnern galt. Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass assoziative Verknüpfungen, die an

der Initiierung prospektiver Gedächtnisleistungen beteiligt sind, in schlafassoziierten Konsolidierungsprozessen gefestigt werden. Diese scheinen aber nicht für die Identifizierung von Reizen, auf die vormals gefasste Handlungsabsichten folgen sollen, nötig zu sein, wenn der Reiz bekannt ist und die Suche nach passenden Reizen in den Fokus der Aufmerksamkeit rückt. Diese Hinweise unterstützen die 2-Prozess-Theorie, die einen integrativen Lösungsansatz zwischen Monitoring und der reflexiv-assoziativen Theorie in Abhängigkeit von der Aufgabe und ihrer Wichtigkeit, dem Individuum selbst sowie weiteren Faktoren sucht.

9. Literaturverzeichnis

- Aserinsky, E., Kleitman, N. (1953). Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena during sleep. *Science* 118: 273 – 274.
- Borbely, A. A. (1998). Processes underlying sleep regulation. *Horm.Res.*, 49, 114-117.
- Born, J., Fehm, H.L. (2000). The neuroendocrine recovery function of sleep. *Noise.Health*, 2, 25-38.
- Born, J., Rasch, B., Gais, S. (2006). Sleep to remember. *The Neuroscientist*, Vol. 12, Nr.5.
- Born, J. & Plihal, W. (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51, 4, 198-208.
- Buzsaki, G. (1998). Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. *J.Sleep Res.*, 7 Suppl 1, 17-23.
- Cohen, A.L. & Dixon R.A. (2003) The Effect of Perpetual Distinctiveness on the Prospective and Retrospective Components of Prospective Memory in Young and old Adults. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 57:4, 274-289.
- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: a framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Da Vinci, L., Die Aphorismen. Rätsel und Prophezeiungen, Schirmer und Mosel, Okt. 2003.
- Debiec, J. (2002) Cellular and Systems Reconsolidation in the Hippocampus. *Neuron*. Oct. 24;36(3):527-38.
- Ekstrand, B. R., Barrett, T. R., West, J. N. & Maier, W. G. (1977). The effect of sleep on human long-term memory. In R. R. Drucker-Colin & J. L. McGaugh (eds.), *Neurobiology of Sleep and Memory*. New York: Academic Press.
- Einstein, G.O. & McDaniel, M.A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 717-726.
- Einstein, G.O. & McDaniel, M.A. (2000). Strategic and Automatic Processes in Prospective Memory Retrieval: A Multiprocess Framework. *Appl. Cognit. Psychol.* 14:S127-S144.
- Einstein G.O. & McDaniel M.A. (2005). Multiple Processes in Prospective Memory Retrieval: Factors Determining Monitoring Versus Spontaneous Retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General* Vol. 134, No. 3, 327-342
- Fankland, P. W. & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nat.Rev.Neurosci.*, 6, 119-130.

- Freud, S. (1952). *Psychopathology of Everyday Life*, New York, s. 79.
- Guynn, M.J., McDaniel M.A., Einstein G.O. (1998). Prospective Memory: When reminders fail. *Memory and Cognition* 26: 287-298.
- Gais, S., Molle, M., Helms, K., & Born, J. (2002) Learning-dependent increases in sleep spindle density. *J Neurosci.*, 22, 6830-6834.
- Guerrien, A., Dujardin, K., Mandai, O., Sockeel, P., & Leconte, P. (1989). Enhancement of memory by auditory stimulation during postlearning REM sleep in humans. *Physiol Behav.*, 45, 947-950.
- Hennevin, E., Hars, B., Maho, C. & Bloch, V. (1995). Processing of learned information in paradoxical sleep: Relevance for memory. *Behavioural Brain Research*, 69, 125-135.
- Hobson, J.A. & Pace-Schott, E.F. (2002). The cognitive neuroscience of sleep: Neuronal systems, consciousness and learning. *Nat.Rev.Neurosci.*, 3, 679-693.
- Hobson, J. A. (2005). Sleep is of the brain, by the brain and for the brain. *Nature*, 437, 1254-1256.
- Jenkins, J. G. & Dallenbach, K. M. (1924). Oblivience during sleep and waking. *American Journal of Psychology*, 35, 605-612.
- Johnson, M.K. & Sherman, S.J. (1990) Constructing and reconstructing the past and the future in the present. In E.T. Higgins & R.M. Sorrentino (Eds.), *Handbook of motivation and cognition. Foundations of social behavior, Vol. 2* (482-526). NY: Guilford Press.
- Karni, A., Tanne, D., Rubenstein, B.S., Askenasy, J.J.M. & Sagi, D. (1994). Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*, 265, 679-681.
- Kattler, H., Dijk, D. J., & Borbely, A. A. (1994). Effect of unilateral somatosensory stimulation prior to sleep on the sleep EEG in humans. *J Sleep Res.*, 3, 159-164.
- Louie, K. & Wilson, M. A. (2001). Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, 29, 145 – 156.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2005). On the relationship between effort toward an ongoing task and cue detection in event-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29, 861-870
- McClelland, J.L., McNaughton, B.L. & O'Reilly, R.C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex. *Psychol. Rev.* 102, 419-457.
- Maquet, P. Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C. et al. (2000). Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nat.Neurosci.*, 3, 831-836.

- McDaniel, M. A., Guynn, M. J., Einstein, G. O., & Breneiser, J. (2004). Cue-focused and reflexive-associative processes in prospective memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 30, 605-614.
- 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.
- Payne, J.D. & Nadel, L. (2004). Sleep, dreams and memory consolidation: the role of the stress hormone cortisol. *Learn.Mem.*, 11, 671-678.
- Peigneux, P., Laureys, S., Delbeuck, X., & Maquet, P. (2001). Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*, 12, A111-A124.
- Pilcher, J.J., Huffcutt, A.I. (1996). Effects of sleep deprivation on performance: a meta-analysis. *Sleep*. 1996 May;19(4):318-26
- Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 534-547.
- Plihal, W. & Born, J. (1999). Memory consolidation in human sleep depends on inhibition of glucocorticoid release. *Neuroreport*, 10, 2741-2747.
- Rosenzweig M.R., Breedlove, S.M. & Watson, N.V. (2005). *Biological Psychology. An Introduction to Behavioral and Cognitive Neuroscience*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- Rosvold H, Mirsky A, Sarason I, et al. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*;
- Rechtschaffen, A. & Kales, A.A. (1968). *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*. Bethesda: US Department of Health, Education and Welfare.
- Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 5, No. 6, 491-506
- Squire L.R. (1998). Memory systems. *C. R. Acad.Sci. III*, 321, 153-156
- Squire L.R (2001). Medial Temporal Lobe Amnesia: Gradual Acquisition of Factual Information by Nondeclarative Memory. *The Journal of Neuroscience*, 22(13):5741-5748.
- Shallice, T. & Burgess, P. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Stickgold, R., James, L. & Hobson, J.A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*, 3, 12, 1237-1238

- Stickgold, R., Whidbee, D., Schirmer, B., Patel, V., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *J Cogn Neurosci.*, 12, 246-254.
- Tulving, E. (2004). Memory, consciousness and time. Keynote address presented at the 16th Annual Convention of the American Psychological Society, Chicago, IL.
- Umeda, S., Nagumo, Y., & Kato, M. (2006) Dissociative contributions of medial temporal and frontal regions to prospective remembering. *Reviews in the Neurosciences*, 17, 267-278.
- Wilson, M.A. & McNaughton, B.L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep episodes. *Science*, 265, 676-679.
- Winograd, E. (1988). Some observations on prospective remembering Wilson, M. A. & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265, 676-679.

10. Danksagung

Ihnen allen gilt mein herzlicher Dank:

Prof. Dr. Jan Born und Dipl.-Psych. Susanne Diekelmann, meinen Eltern Reinhard und Renate, meinen Geschwistern Arne und Anne-Sophie, Dina Reusch, Daniel Ahrens, Florian Seubert, Abdulla Abawi, Dr. Francisco Pedro de Lelis.

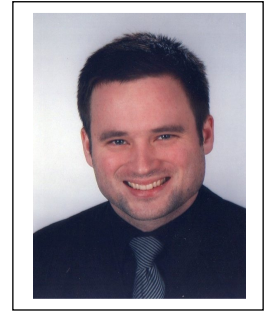
11. Curriculum vitae

Name Steffen Christian Sauer

Adresse Klosterbergenstraße 46c
21465 Reinbek

Tel.: 040/7225141
Email: sauer_steven@web.de

Geburtsdatum 28.09.81
Geburtsort Reinbek
Nationalität deutsch



Ausbildung:

1987 – 1993 Instituto Alemán, Osorno/Chile
1993 – 1998 Sachsenwaldgymnasium Reinbek
1998 – 1999 Auslandsschuljahr NY/USA
1999 – 2001 Sachsenwaldgymnasium Reinbek
2001 – 2002 Zivildienst im Krankenhaus St. Adolf – Stift
2002 – 2005 Medizinstudium an der Universität zu Lübeck
2005 – 2006 Auslandsstudienjahr an der Università degli Studi di Milano/Italien
2006 – 2007 Medizinstudium an der Universität zu Lübeck
2007 – 2008 Praktisches Jahr in Lübeck, Santiago/Chile, Valencia/Spanien, Grosshansdorf
2008 Staatsexamen