

Aus dem Institut für Neuroendokrinologie
der Universität zu Lübeck
Kommissarischer Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Hendrik Lehnert

**Die Interaktion von deklarativen und prozeduralen
Gedächtnisinhalten im Wachzustand und im Schlaf**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von
Vincent Christian Patrick Magiera
aus Lübeck

Lübeck 2014

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. rer. soc. Jan Born

2. Berichterstatter:

Priv.-Doz. Dr. med. Johann Hagenah

Tag der mündlichen Prüfung:

09.02.2015

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den

09.02.2015

Promotionskommission der Sektion Medizin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Schlaf.....	2
1.2 Gedächtnis.....	4
1.3 Schlaf und Gedächtnis.....	8
1.4 Serial reaction-time task.....	11
1.5 Interaktionsmodell.....	12
1.6 Fragestellung und Hypothesen.....	13
2. Material und Methoden.....	14
2.1 Studiendesign.....	14
2.2 Probanden.....	14
2.3 Versuchsablauf.....	15
2.4 Gedächtnistests.....	16
2.5 Polysomnographie.....	19
2.6 Kontrollvariablen.....	20
2.7 Statistische Auswertung.....	21
3. Ergebnisse.....	22
3.1 Gedächtnistests.....	23
3.2 Schlafdaten.....	25
3.3 Kontrollvariablen.....	26
4. Diskussion.....	31
5. Zusammenfassung.....	39
6. Quellenverzeichnis.....	40
7. Anhang.....	50
7.1 Abfrage Wortliste.....	50
7.2 Probanden Selbstauskunft und rechtlicher Hinweis.....	51
7.3 Fragebogen zu Probandendaten.....	52
7.4 Stanford-Schläfrigkeitsskala.....	53
7.5 Regensburger Wortflüssigkeitstest.....	54
8. Danksagung.....	55
9. Lebenslauf.....	56

1. Einleitung

Auf die Frage hin, was nach jahrzehntelanger Erforschung des Schlafes über die Schlaf-funktion gesagt werden könne, kommt William Dement zu dem Schluss, dass „der einzige Grund, weshalb wir Schlaf benötigen – der wirklich, wirklich unwiderlegbar ist – der ist, weil wir schläfrig werden“ (Max, 2010). Derartige Gedanken legen den Schluss nahe, dass Schlaf einer energiesparenden, auch regenerativen oder gar restaurativen Funktion nachkommt (Brown, 2012; Siegel, 2005). Der Einfluss von Schlafentzug auf das Immunsystem (Ackermann et al., 2012; Reis et al., 2011; Zager et al., 2007) und der Zusammenhang von chronischem Schlafmangel mit verschiedenen Erkrankungen sowie erhöhter Mortalität (Ferrie et al., 2007; Gallicchio und Kalesan, 2009; Guidolin und Gradisar, 2012; Knutson, 2010; Morselli et al., 2012) wurden vielfach belegt. Dies allein kann aber nicht der Grund sein, dass wir Menschen ein derart komplexes System zur Regulierung des Schlafes haben, sodass ein evolutionärer Vorteil bestehen muss (Brown, 2012), da wir während des Schlafes – in diesem Zustand verbringen wir immerhin ein Drittel unseres Lebens – unser Bewusstsein verlieren (Frank, 2006). Zwar ist es so, dass beispielsweise Tiere aus Rapid-Eye-Movement-Schlaf (REM) und im Vergleich zum Non-Rapid-Eye-Movement-Schlaf (NREM) mit nahezu vollständigen sensorisch-motorischen Fähigkeiten, also relativ 'bewusst', aufwachen (Siegel, 2005) – dennoch bleibt das reduzierte Bewusstsein für Tiere ein Risiko. REM-Schlaf wird auch als Traumschlaf aufgefasst und bietet uns, wenn wir in diesem Stadium geweckt werden, teils sehr 'bewusste' Erinnerungen – wenn wir aus NREM-Schlaf heraus erwachen, so werden deutlich seltener Träume beschrieben (Massimini et al., 2005). Womöglich wird das Bewusstsein im Schlaf deshalb heruntergefahren, da im Wachzustand externe Stimuli mit der Gedächtnisbildung interferieren (Peigneux et al., 2006) – diese Interferenz der Gedächtnissysteme im Wachzustand ist von besonderer Bedeutung für diese Arbeit (Brown und Robertson, 2007b). Manche Kinder haben zu Schulzeiten von ihren Eltern vor Prüfungen den ermunternden Ratschlag bekommen, das Lehrbuch unter das Kopfkissen zu legen, um das Wissen über Nacht zu festigen. Auch wenn es sich hierbei nur um einen Placebo-ähnlichen Effekt handeln mag, so wurde die Bedeutung des Schlafes im Rahmen der Gedächtnisbildung – die ebenfalls von besonderer Bedeutung für diese Arbeit ist – mehrfach belegt (Diekelmann et al., 2009).

1.1 Schlaf

Schlaf wird derzeit als ein „v.a. nachts regelmäßig wiederkehrender physiologischer Erholungszustand mit Veränderung von Bewusstseinslage und Körperfunktionen“ (Pschyrembel und Dornblüth, 2004) verstanden. Bei reduziertem – wenn nicht gar fast aufgehobenem – Bewusstsein sind physiologischerweise nahezu alle willkürlichen Muskeln inaktiv. In Abgrenzung zum Koma oder zur Allgemeinanästhesie ist die Bewusstseinsveränderung jederzeit aufhebbar (Siegel, 2005). Des Weiteren überwiegt v.a. im NREM-Schlaf der Parasympathikus, was u.a. zur Blutdruckabsenkung sowie Verringerung der Atem- und Herzfrequenz führt. Daneben kommt es zu einer erhöhten Ausschüttung von anabolen Hormonen wie beispielsweise Somatotropin (Van Cauter et al., 2000).

Zwei Drittel der Erwachsenen schlafen sieben bis acht Stunden am Tag: Das Schlafbedürfnis von bis zu 18 Stunden bei einem Säugling nimmt bis in das Senium hin ab, bis zu 6% der Erwachsenen schlafen weniger als sechs Stunden pro Tag (Stephoe et al., 2006). Im Lebenslauf ändert sich nicht nur die Schlafdauer, sondern auch der Anteil von Schlafstadien am gesamten Schlaf. So reduziert sich der Anteil des REM-Schlafes, der initial rund die Hälfte ausmacht, innerhalb der ersten Lebensjahre auf 20–25% des Schlafes (Carskadon und Dement, 2011; Van Cauter et al., 2000; Siegel, 2005).

Die Schlafstadien werden nach der international etablierten Klassifikation der Schlafstadien durch Rechtschaffen und Kales eingeteilt. Als Kriterien werden die Aufzeichnungen der elektrischen Hirnaktivität als Elektroenzephalogramm, der Augenmuskelaktivität als Elektroofokulogramm (EOG) und die Aktivität der perioralen Muskulatur als Elektromyogramm (EMG) herangezogen. Im Rahmen der Elektroenzephalographie (EEG) werden von der Haut Spannungsschwankungen abgeleitet. Diese Schwankungen entstehen durch summierte, synchronisierte Potentiale von oberflächlichen Nervenzellen der Großhirnrinde (Brown et al., 2012; Carskadon und Dement, 2011; Rechtschaffen und Kales, 1968; Stickgold, 1998).

Neben dem Wachzustand wird zwischen NREM-Schlaf und REM-Schlaf unterschieden. Der NREM-Schlaf wird in vier Schlafstadien eingeteilt. Die Schlaftiefe nimmt von Stadium 1 bis 4 zu und der Übergang zwischen den Stadien kann fließend sein. Dement und Kleitmann beschreiben den prinzipiellen Aufbau des Schlafs in ca. 90 Minuten andauernde Zyklen, die vier bis fünf mal in der Nacht durchlaufen werden. Demnach werden die

NREM-Stadien 1 bis 4 mit nachfolgendem REM-Schlaf durchlaufen. In der ersten Schlafhälfte überwiegt der NREM-Schlaf et vice versa überwiegt in der zweiten Schlafhälfte der REM-Schlaf. Das Wachstadium zeichnet sich durch einen über 50%igen Anteil von Alpha-Wellen – die eine Frequenz von 8–13 Hz haben – und das Auftreten von EEG-Wellen mit niedriger Amplitude sowie variabler Frequenz aus. Im EOG und EMG ist ein unruhiges Bild zu sehen. Im Schlafstadium 1 verlangsamt sich das EEG und der Alpha-Wellen-Anteil beträgt nur noch weniger als die Hälfte. Es überwiegen EEG-Wellen mit 2–7 Hz. Das EMG ist insgesamt ruhiger als im Wachstadium. Im EOG können langsame, rollende Augenbewegungen beobachtet werden. Durch das Auftreten von K-Komplexen und Spindeln grenzt sich das Stadium 2 vom Stadium 1 ab. K-Komplexe sind biphasische Wellen mit steiler negativer Auslenkung, die direkt positiv umschlagen. Die Amplitude der K-Komplexe beträgt mindestens 75 μ V. Spindeln sind mindestens 0,5 Sekunden lange Wellen, die eine Frequenz von 12–14 Hz haben. Des Weiteren können vereinzelt Delta-Wellen mit einer Amplitude von mindestens 75 μ V und 0,5–2 Hz auftreten. Im Verlauf werden EOG und EMG weiterhin ruhiger. Die Stadien 1 und 2 werden als leichter Schlaf aufgefasst. Mit zunehmender Schlaftiefe treten gehäuft Delta-Wellen auf, deren Anteil im Stadium 3 mindestens 20% beträgt. Schlafspindeln und K-Komplexe kommen vereinzelt vor. Die Amplitude wird weiterhin flacher und die zu verzeichnenden Aktivitäten werden im EOG und EMG weniger. Das Stadium 4 zeichnet sich durch einen Anteil von mindestens 50% Delta-Wellen aus. Wie im Schlafstadium 3 können Schlafspindeln und K-Komplexe auftreten. Auch hier sind EOG und EMG von niedriger Amplitude. Die Stadien 3 und 4 werden durch das Überwiegen von Delta-Wellen als Slow-Wave-Sleep (SWS) bezeichnet. Des Weiteren gibt es im SWS sog. langsame Oszillationen, Wellen mit einer Frequenz von weniger als einem Hertz. Der durch Aserinsky und Kleitman erstmals beschriebene REM-Schlaf zeichnet sich vor allem durch schnelle ruckartige Augenbewegungen und der Muskelatonie aus. Ausdruck findet dies im EMG mit geringerer Amplitude und recht typischem Muster im EOG. Im EEG treten keine Delta-Wellen auf, es überwiegen Wellen mit einer Frequenz von 2–7 Hz (Aserinsky und Kleitman, 1953; Brown et al., 2012; Carskadon und Dement, 2011; Dement und Kleitman, 1957; Rechtschaffen und Kales, 1968; Stickgold, 1998).

Eine alternative Einteilung der Schlafstadien und des -Scorings wurde von der American Academy of Sleep Medicine veröffentlicht (Iber et al., 2007). Bei dieser Einteilung gibt es nur noch die Schlafstadien N1, N2, N3 und REM. Im Grunde wurden die Schlafstadien 3 und 4 zum Schlafstadium N3 zusammen gelegt. Des Weiteren sind zusätzliche parietale,

occipitale und frontale EEG-Ableitungen notwendig. Wegen der zum Zeitpunkt der Auswertung der EEG-Daten teils nicht unumstrittenen Klassifikation wurde in dieser Studie die etablierte Klassifikation nach Rechtschaffen und Kales angewandt (Carskadon und Dement, 2011; Grigg-Damberger, 2012; Iber et al., 2007; Novelli et al., 2010; Ruehland et al., 2009).

Der Schlaf unterliegt einer circadianen Rhythmik, die von exogenen und endogenen Faktoren beeinflusst wird. Neben dem Einfluss der Arbeitszeiten sowie des Soziallebens spielen die Jahreszeiten und Lichtverhältnisse wie z.B. künstliches Licht als äußere Faktoren eine Rolle. Adenosin, Melatonin, Cortisol und die Körperkerntemperatur gelten als die Marker der inneren Faktoren, die den circadianen Rhythmus des Menschen regulieren (Arendt, 2012; Benloucif et al., 2005; Carskadon und Dement, 2011; Coulon et al., 2012; Klerman et al., 2002; Zee et al., 2013). Klassischerweise erfolgt die Regulierung auf neuronaler Ebene des Schlafes durch Systeme im Hirnstamm und Hypothalamus. Afferenzen aus diesen Systemen stimulieren den Thalamus. Thalamocortikale Afferenzen können periphere sensorische Signale weiterleiten und tragen zur Aufrechterhaltung des Wachzustandes bei. Im Verlauf des Wachzustandes kumulieren schlafregulierende Substanzen, allen voran Adenosin. Dies führt zu abnehmender bis völlig fehlender Aktivität der aufsteigenden, schlafregulierenden Systeme im Hirnstamm und Hypothalamus, so dass die Aktivität des Thalamus derart verändert wird, um als Schrittmacher für die typischen Oszillationen – wie Schlafspindeln, K-Komplexe und Delta-Wellen – im Schlaf arbeiten zu können (Avanzini et al., 2000; Brown et al., 2012; Coulon et al., 2012).

1.2 Gedächtnis

Das menschliche Gehirn ermöglicht die Verarbeitung der von Sinnesorganen aufgenommenen Informationen. Diese können gespeichert, geordnet und weiterverarbeitet werden, um später evtl. bewusst oder unbewusst abgerufen zu werden. Eine Gliederung nach zeitlichen und inhaltlichen Aspekten ist üblich und für diese Arbeit besonders relevant.

Am geläufigsten ist die Einteilung des menschlichen Gedächtnisses in ein Kurz- und Langzeitgedächtnis (Squire et al., 1993). Da das Langzeitgedächtnis für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung ist, wird hierauf detaillierter eingegangen. Nach inhaltlichen und funktionellen Aspekten wird das Langzeitgedächtnis weiter in ein deklaratives und nicht-deklaratives Gedächtnissystem unterteilt (Tulving, 1995). Das deklarative Langzeit-

gedächtnis wird auch als explizites Gedächtnis bezeichnet, da es das bewusste Abrufen von Informationen umfasst; dieser Zusammenhang ist jedoch unpräzise, da es in Abhängigkeit von den Aufgaben Überschneidungen geben kann (siehe Kapitel 1.4, Seite 11). Eine weitere Aufteilung des deklarativen Langzeitgedächtnisses erfolgt in das episodische und semantische Gedächtnis. Beide Systeme sind an der Wiedergabe von Fakten beteiligt. Während das episodische Gedächtnis noch der Information einen zeitlich-räumlichen Aspekt zuordnet – beispielsweise autobiographische Daten wie Erinnerungen an Examina, Entlassungsfeiern –, wird im semantischen Gedächtnis die Information ohne zeitlich-räumliche Zuordnung gespeichert – z.B. die Erkenntnis, dass der Atlantik ein Ozean und kein großer Teich ist –, ohne sich an den Zeitpunkt oder Umstand des Erwerbs dieser Information zu erinnern. Das nicht-deklarative Gedächtnis wird auch als implizites Gedächtnis bezeichnet, da es vor allem das unbewusste Abrufen von Informationen umfasst; dieser Zusammenhang ist jedoch ebenfalls unpräzise, da es in Abhängigkeit von den Aufgaben ebenfalls Überschneidungen geben kann (siehe auch Kapitel 1.4, Seite 11) (Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005; Robertson und Cohen, 2006; Squire und Wixted, 2011; Squire und Zola, 1996; Stickgold, 2005; Tulving, 1995; Vidoni und Boyd, 2007; Walker und Stickgold, 2006). Eine weitere Aufteilung erfolgt in Priming, Nicht-Assoziatives-Lernen, Konditionierung und prozedurales Gedächtnis (Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005; Squire und Wixted, 2011; Stickgold, 2005; Tulving, 1995; Vidoni und Boyd, 2007). Unter Priming wird der Vorgang verstanden, dass ein vorhergehender Reiz – beispielsweise Wörter oder Bilder – die Verarbeitung eines darauf folgenden Reizes beeinflussen. Nicht-assoziatives-Lernen umfasst die Prozesse „Habituation“ und „Sensitivierung“, wobei es sich um gegenläufige Prozesse handelt: Unter Habituation wird die abnehmende Reaktion auf einen unbedeutenden Reiz verstanden und bei der Sensitivierung verhält es sich vice versa. Als klassische Konditionierung wird das Herstellen einer Assoziation zwischen zweier, zuvor nicht gekoppelter Reize verstanden. Diese rufen am Ende ein und dieselbe Reaktion hervor, wobei für einen dieser Reize die Reaktion eher untypisch ist (Tulving und Schacter, 1990; Vidoni und Boyd, 2007). Besonders relevant für diese Arbeit ist das prozedurale Gedächtnis. Dieses umfasst vor allem das unbewusste Abrufen von motorischen Fertigkeiten wie Schwimmen oder die Fähigkeit einen Stift zu verwenden und die Möglichkeit sensorische – sei es visueller, auditiver oder taktiler Natur – Informationen zu verarbeiten. Grundsätzlich können prozedurale Information auch bewusst, d.h. explizit, erworben werden. Hierdurch kann es zu einer Überschneidung mit dem deklarativen Gedächtnissystem kommen (Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005; Robertson und Cohen, 2006; Squire und

Wixted, 2011; Squire und Zola, 1996; Stickgold, 2005; Tulving, 1995; Tulving und Schacter, 1990; Vidoni und Boyd, 2007; Walker und Stickgold, 2006).

Wenn im Gedächtnis eine neue Information implementiert werden soll, durchläuft diese verschiedene Prozesse. Klassischerweise werden diese Abläufe als Enkodierung und Konsolidierung sowie Abruf bezeichnet. Enkodierung umfasst den Prozess der Erfassung einer neuen Information auf neuronaler Ebene. Da diese als Engramm bezeichnete, neu kodierte Information labil und anfällig für Interferenzen ist, bedarf es einer weiteren Verarbeitung und Festigung der Information. Dieser als Konsolidierung bezeichnete Prozess unterliegt unterschiedlichen Mechanismen. Dem sog. „Zwei-Speicher-Modell“ zufolge manifestieren sich Gedächtnisinhalte in einer Art Zwischenspeicher und werden durch Reaktivierung im SWS in langfristige Speicher überführt (Born und Wilhelm, 2012; Ellenbogen et al., 2006; Rasch und Born, 2013; Robertson und Cohen, 2006; Sutherland und McNaughton, 2000; Walker, 2009). Des Weiteren unterliegen prozedurale Gedächtnisinhalte einer zweiphasigen Konsolidierung: Einer schlafunabhängigen Stabilisierung sowie einer schlafabhängigen Verstärkung der neu akquirierten Gedächtnisinhalte. Wenngleich die Stabilisierung primär schlafunabhängig ist, kann diese durch Schlaf verkürzt werden. Darüber hinaus kommt es durch eine Schlafphase zu einer Verstärkung, so dass der Gedächtnisinhalt nicht nur stabilisiert, sondern in seiner Ausführung auch optimiert ist. Dieser Vorgang, dass sich neu erlernte Inhalte oder Fertigkeiten ohne weitere Übung verstärken, wird auch als „Offline-Learning“ bezeichnet (Holz et al., 2012; Hotermans et al., 2006; Karni et al., 1995, 1998; Korman et al., 2007; Robertson et al., 2004; Walker, 2005; Walker und Stickgold, 2006). Konsolidierung ist keinesfalls ein rein passiver Vorgang, bei dem die gespeicherten Informationen nur geschützt werden, sie ist zugleich auch ein aktiver Prozess (Diekelmann und Born, 2010). Unterschieden wird zwischen synaptischer und systemischer Konsolidierung. Synaptische Konsolidierung findet innerhalb von Minuten bis Stunden statt und beginnt schon im Wachzustand. Besonders gut untersucht ist dieser Prozess als hippocampale Langzeitpotenzierung. Obwohl sich dies im Rahmen der Konsolidierung von deklarativen Gedächtnisinhalten abspielt, gilt die Langzeitpotenzierung als allgemeingültig für synaptische Plastizität und ist damit auf alle Gedächtnissysteme anwendbar. Wenn zwei oder mehr Neurone gleichzeitig und wiederholt aktiviert werden, kommt es in diesen Neuronen zur Aktivierung intrazellulärer Signalkaskaden, die zu einer veränderten Protein-Synthese führen. Insbesondere in den Synapsen vorhandene Proteine werden reorganisiert oder modifiziert und andere neu synthetisiert. Es kommt zu einer „Potenzierung“, d.h. Verstärkung der

Verbindung zwischen Synapse und postsynaptischem Neuron (Abel et al., 2013; Born und Wilhelm, 2012; Conte und Ficca, 2013; Diekelmann und Born, 2010; Dudai, 2004; Eichenbaum, 2004; Frankland und Bontempi, 2005; Moscovitch et al., 2005; Peigneux et al., 2006; Sejnowski und Destexhe, 2000; Walker, 2005; Walker und Stickgold, 2006). Als systemische Konsolidierung wird die Integration von neu Gelerntem durch ständige Reaktivierung in schon bestehende neocortikale Netze verstanden – dies geschieht vor allem im Schlaf. Anzumerken ist, dass die systemische Konsolidierung auch auf den Mechanismen der synaptischen Konsolidierung basiert. Über Tage bis Jahre hinweg wird beispielsweise bei semantischen Gedächtnisinhalten auch eine Unabhängigkeit vom Hippocampus erreicht. Nach neuem Verständnis werden Informationen parallel im Hippocampus und Neocortex encodiert, wobei durch Reaktivierung hippocampo-neocortikaler Afferenzen bei der Integration neuer Gedächtnisinhalte in neocortikale Netze helfen (Born und Wilhelm, 2012; Conte und Ficca, 2013; Diekelmann und Born, 2010; Dudai, 2004; Frankland und Bontempi, 2005; Moscovitch et al., 2005; Squire und Wixted, 2011; Wagner und Born, 2008).

Bei der Gedächtnisbildung deklarativer Gedächtnisinhalte spielt der Hippocampus eine herausragende Rolle, wie bereits im vorherigen Abschnitt angedeutet. Außerdem werden auch die an den Hippocampus angrenzenden parahippocampalen, entorhinalen und perirhinalen Cortices der Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte zugeordnet. Diese im medialen Temporallappen lokalisierten Regionen werden v.a. als Zwischenspeicher aufgefasst und unterstützen durch die o.g. Prozesse die Bildung des deklarativen Langzeitgedächtnisses im Neocortex (Born und Wilhelm, 2012; Dudai, 2004; Eichenbaum, 2004; Robertson und Cohen, 2006; Squire und Wixted, 2011; Squire und Zola, 1996; Vidoni und Boyd, 2007; Walker, 2010). Des Weiteren ist der präfrontale Cortex an der Regulation hippocampaler Aktivität beteiligt und hilft bei der Integration sowie Stärkung cortico-corticaler Netzwerke (Frankland und Bontempi, 2005; Galea et al., 2010). Die Konsolidierung des prozeduralen Gedächtnisses gilt als hippocampusunabhängig, obwohl es Hinweise auf hippocampale Einflüsse der Konsolidierung nicht-deklarativer Gedächtnisinhalte gibt (Albouy et al., 2013b, 2013c; Brown und Robertson, 2007b; Diekelmann und Born, 2010; Doyon et al., 2009; Schendan et al., 2003); dies ist weitestgehend abhängig von der Auswahl der prozeduralen Aufgabe (Cohen und Robertson, 2011; Gais et al., 2000). Für die motorische Gedächtnisbildung sind diejenigen Areale verantwortlich, die auch an der motorischen Steuerung beteiligt sind. Neben präfrontalen und parietalen Cortex-Arealen sind der primär so-

matomotorische sowie supplementär motorische Cortex zu benennen. Darüber hinaus spielen die Basalganglien, allen voran das Corpus striatum, und das Cerebellum eine zentrale Rolle (Albert et al., 2009; Albouy et al., 2012, 2013b, 2013c; Brown und Robertson, 2007b; Debas et al., 2010; Doyon et al., 2009; Dudai, 2004; Euston et al., 2012; Kreitzer und Malenka, 2008; Peigneux et al., 2006; Robertson und Cohen, 2006; Schendan et al., 2003; Squire und Zola-Morgan, 1991; Squire und Zola, 1996; Vidoni und Boyd, 2007; Walker, 2005).

1.3 Schlaf und Gedächtnis

Pointiert dargestellt führt der Bewusstseinsverlust im Schlaf dazu, dass der Cortex nicht der Umwelt, sondern eher sich selber zuhört (Sejnowski und Destexhe, 2000). So schwindet mit Beginn des Schlafes die Wahrnehmung für externe Reize und unterstützt, wie schon im vorherigen Kapitel angedeutet, die Gedächtnisbildung – insbesondere die Konsolidierung (Brown et al., 2012; Peigneux et al., 2006). Bemerkenswert ist, dass auch Schlaf zur Tageszeit die Konsolidierung prozeduraler (Albouy et al., 2013a; Conte und Ficca, 2013; Korman et al., 2007; Walker und Stickgold, 2006) als auch deklarativer Gedächtnisinhalte unterstützt (Van der Helm et al., 2011; Takashima et al., 2006). Für den Einfluss von Schlaf auf das Gedächtnis wurden verschiedene Modelle erarbeitet. So basiert die „Duale Prozesshypothese“ auf der Annahme, dass bestimmte Elemente des Schlafes unterschiedlich auf die Gedächtnissysteme wirken: REM-Schlaf begünstigt die Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte und NREM-Schlaf bzw. SWS fördert die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte (Hobson und Pace-Schott, 2002; Peigneux et al., 2001; Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005; Smith, 2001). Andere Studien belegen wiederum, dass REM-Schlaf auch deklarative und NREM-Schlaf prozedurale Gedächtnisinhalte unterstützt. – Dieser Umstand kann auf dem grundsätzlichen Problem basieren, dass Aufgaben selten rein deklarativ oder nicht-deklarativ sind (Diekelmann und Born, 2010). Die „Sequenzielle Hypothese“ basiert auf dem Postulat, dass das Durchlaufen eines Schlafzyklus – mit der Abfolge von SWS- bzw. NREM-Schlaf und REM-Schlaf – von entscheidender Bedeutung für die Gedächtniskonsolidierung ist. Diesem Modell zufolge nehmen sowohl SWS- bzw. NREM-Schlaf als auch REM-Schlaf Einfluss auf die Konsolidierung beider Gedächtnissysteme (Conte und Ficca, 2013; Giuditta et al., 1995; Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005). Ein Focus der aktuellen Forschung liegt auf der Untersuchung des Einflusses einzelner EEG-Wellen und -Oszillationen respektive Schlafphasen.

Recht ausführlich untersucht ist der Einfluss von SWS auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung (Gais und Born, 2004; Walker, 2009; Walker und Stickgold, 2006). Der Zusammenhang zwischen den Mechanismen der systemischen Konsolidierung und dem Zwei-Speicher-Modell führt zu dem „Modell der Aktiven-Systemkonsolidierung“. Nach der parallelen Enkodierung neuer Informationen im Hippocampus und dem Neocortex kommt es zu wiederholter Reaktivierung der kodierten Information – überwiegend im SWS-Stadium (Born, 2010; Diekelmann und Born, 2010). Eine entscheidende Rolle spielen hierbei langsame Oszillationen mit 0,5–1 Hz: Diese entstehen im Neocortex (Brown et al., 2012; Coulon et al., 2012; Lewis und Durrant, 2011) und korrelieren in der Höhe ihrer Amplitude im EEG mit der Anzahl an neu kodierten Informationen im Wachzustand (Born und Wilhelm, 2012). Langsame Oszillationen sind Ausdruck synchronisierter Aktivität neocorticaler Neuronen, die sich gemeinsam zunächst in einem hyperpolarisierten Zustand („Down-State“) befinden und anschließend gemeinsam depolarisiert („Up-State“) werden. Entscheidend ist, dass die Aktivität der neocorticalen Areale mit dem Hippocampus und Thalamus synchronisiert werden. Im Rahmen dieser Synchronisierung treffen thalamische Spindeln zeitgleich mit Signalen aus hippocampalen Efferenzen, sog. „sharp-wave/ripples“, im Neocortex ein (Born, 2010; Born et al., 2006; Brown et al., 2012; Conte und Ficca, 2013; Coulon et al., 2012; Frankland und Bontempi, 2005; Hobson und Pace-Schott, 2002; Lewis und Durrant, 2011; Logothetis et al., 2012; Marshall und Born, 2007; Sejnowski und Destexhe, 2000; Walker, 2010). Daneben kann NREM-Schlaf vor Enkodierung neuer Gedächtnisinhalte das Gehirn vorbereiten und die Enkodierung effizienter gestalten (Abel et al., 2013; Walker, 2009). Nach intensiven Lernerfahrungen treten im darauf folgenden Schlaf gehäuft langsame Oszillationen und Spindeln auf (Born und Wilhelm, 2012). Die erhöhte Spindeldichte wird sowohl bei deklarativen als auch prozeduralen Lernaufgaben im nachfolgenden Schlaf beobachtet und korreliert auch mit Leistungssteigerungen in verschiedenen Lernaufgaben (Albouy et al., 2013b; Conte und Ficca, 2013; Diekelmann und Born, 2010; Ellenbogen et al., 2006; Fogel et al., 2007; Gais et al., 2002; Griessenberger et al., 2013; Walker, 2010; Wilhelm et al., 2011; Witt et al., 2010). Ob Spindeln aber eine unmittelbare Rolle im Rahmen der Konsolidierung spielen, ist umstritten; hervorzuheben ist jedoch der zuvor beschriebene, sich selbst verstärkende Zyklus aus langsamen Oszillationen und Spindeln (Gais et al., 2002; Rasch und Born, 2013) – außerdem gibt es auch Autoren, die Spindeln eine Rolle in der synaptischen Konsolidierung respektive der Langzeitpotenzierung zuordnen (Albouy et al., 2013a; Conte und Ficca, 2013; Hobson und Pace-Schott, 2002; Rauchs et al., 2005; Robertson und Cohen, 2006; Sejnowski und Destexhe, 2000;

Stickgold und Walker, 2007). Einerseits treten mit zunehmender Schlaftiefe Delta-Wellen und langsame Oszillationen vermehrt auf, andererseits nimmt die Spindeldichte mit zunehmender Schlaftiefe ab. Schlafspindeln sind ein zentrales Erkennungsmerkmal von Schlafphase 2. Ebenso wie Spindeln wurde auch Schlafphase 2 mit Gedächtniskonsolidierung in Verbindung gebracht: Nach Ausführung von unterschiedlichen prozeduralen Lernaufgaben konnte im darauf folgenden Schlaf eine Zunahme des Anteils der Schlafphase 2 beobachtet werden (Fogel et al., 2007; Rasch und Born, 2013; Rauchs et al., 2005; Walker und Stickgold, 2006; Witt et al., 2010). Darüber hinaus wurde ein Zusammenhang zwischen der Komplexität einer prozeduralen Aufgabe und der Schlafphase 2 erkannt: Auf der einen Seite ist der Anteil von Schlafphase 2 umso größer, je simpler die Versuchsaufgaben sind, und auf der anderen Seite ist die Zunahme von Schlafphase 2 umso stärker, je besser die Fertigkeiten eines Probanden bei der Ausführung von prozeduralen Aufgaben sind. Schlafphase 2 scheint also an der Feinjustierung motorischer Fertigkeiten beteiligt zu sein (Fogel et al., 2007; Rasch und Born, 2013).

Der REM-Schlaf könnte an der Entwicklung des Gehirnes beteiligt sein (Siegel, 2005), was daraus gefolgert wird, dass der REM-Schlaf-Anteil bei Säuglingen deutlich höher als bei Erwachsenen ist. Um die Funktionen des REM-Schlafes zu durchschauen, wurden in verschiedenen Studien Probanden REM-Schlaf entzogen. Diese Studien legen einen positiven Einfluss des REM-Schlafes vor allem auf die prozedurale Gedächtniskonsolidierung dar (Rauchs et al., 2005; Smith, 2001). Jedoch werden diese Schlafentzugsstudien kritisiert, da der Schlafentzug Stress verursacht, die Emotionalität beeinflusst wird und / oder die Probanden schlicht nicht ausgeschlafen sind (Ackermann et al., 2012; Horne und McGrath, 1984; Peigneux et al., 2001; Rauchs et al., 2005; Siegel, 2005). In einigen Studien wurde auch die Abhängigkeit der Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte mit emotionaler Komponente vom REM-Schlaf nachgewiesen (Rauchs et al., 2005; Stickgold, 2005). Eine Möglichkeit, die unerwünschten Einflüsse von Schlafentzug zu minimieren, fußt auf der Dichotomie des Schlafes: Die erste Hälfte wird von SWS- und die zweite Hälfte von REM-Schlaf dominiert. Hierzu werden Probanden nach der ersten Nachthälfte geweckt, führen dann Tests durch und schlafen danach weiter – so kann der positive Einfluss der jeweiligen Nachthälfte auf prozedurale oder deklarative Aufgaben beurteilt werden (Peigneux et al., 2001; Plihal und Born, 1997). Auch wenn in beiden Hälften der Nacht der Anteil von Schlafphase 2 relativ gleich groß ist und durch diese Bedingung SWS- und REM-Schlaf relativ gut verglichen werden können (Rasch und Born, 2013), könnte der po-

sitive Einfluss auf die prozedurale Konsolidierung in der zweiten Nachthälfte auch der Schlafphase 2 zugeordnet werden (Rauchs et al., 2005). Des Weiteren wurde ein Zusammenhang zwischen der Komplexität einer prozeduralen Aufgabe und REM-Schlaf erkannt: Auf der einen Seite ist der Anteil von REM-Schlaf umso größer, je komplexer die Versuchsaufgaben sind, und auf der anderen Seite ist die Zunahme von REM-Schlaf umso stärker, je schlechter die Fertigkeiten eines Probanden bei der Ausführung von prozeduralen Aufgaben sind. REM-Schlaf scheint also am Erwerb motorischer Fertigkeiten beteiligt zu sein und verhält sich genau gegenteilig zur Rolle der Schlafphase 2. Im Einklang mit dieser Annahme steht, dass REM-Schlafentzug sich weniger stark auf simple als auf komplexe, prozedurale Aufgaben auswirkt (Fogel et al., 2007; Gais et al., 2000; Rasch und Born, 2013).

1.4 Serial reaction-time task

Die serial reaction-time task (SRTT) spielt in dieser Arbeit eine zentrale Rolle: Die SRTT ist ideal zur Überprüfung von Interaktionen zwischen dem deklarativen und prozeduralen Gedächtnissystem, da sie eine deklarative und eine prozedurale Komponente enthält. Bei der SRTT leuchtet auf einem Bildschirm ein visuelles Signal an einer von vier möglichen Stellen auf, der Proband hat prompt auf einer Tastatur eine der vier möglichen Tasten zu drücken. Die visuellen Signale entsprechen einer, in diesem Fall zwölf Elemente umfassenden Sequenz. Die prozedurale Komponente, die durch eine schnellere Ausführung der SRTT messbar wird, umfasst die motorische Ausführung der Aufgabe. Die deklarative Komponente besteht aus dem Wissen über die Sequenz: Dabei ist gleichgültig, ob der Proband die Sequenz selbst erkannt hat oder ob ihm diese mitgeteilt wurde; diese Komponente lässt sich durch die Abfrage der Sequenz mit Abschluss der SRTT leicht überprüfen. Die deklarative Komponente der SRTT lässt sich durch eine anschließende, interferierende, deklarative Aufgabe weiter unterdrücken (Brown und Robertson, 2007a; Galea et al., 2010; Vidoni und Boyd, 2007). Hieraus leiten sich prinzipiell zwei unterschiedliche Varianten der SRTT mit unterschiedlicher Zielsetzung ab: Die explizite und implizite SRTT. Bei der Abgrenzung dieser beiden Varianten wird deutlich, dass es zur Aktivierung unterschiedlicher anatomischer Strukturen kommt: Die explizite SRTT aktiviert auch den Hippocampus (Cohen und Robertson, 2011; Walker et al., 2005; Wilson et al., 2012), während die implizite SRTT überwiegend den primären Motorkortex, die Basalganglien und den supplementär motorischen Kortex aktiviert (Albouy et al., 2013b; Galea et al., 2010; Hazeltine et al., 1997).

1.5 Interaktionsmodell

In den Experimenten von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) wurde der Einfluss von deklarativem Lernen auf die Konsolidierung prozeduraler Gedächtnisinhalte untersucht. Probanden hatten in einer ersten Sitzung als prozedurale Aufgabe die SRTT gelernt und ausgeführt. Im direkten Anschluss hatten die Probanden als deklarative Aufgabe, die mit der prozeduralen Aufgabe interagieren sollte, eine Wortliste auswendig gelernt. Nach einer zwölfstündigen Pause, in der die Probanden entweder tagsüber wach waren oder acht Stunden nachts über schliefen, hatten die Probanden in der zweiten Sitzung abermals die SRTT ausgeführt, um anschließend zum freien Abruf der Sequenz aus dem Gedächtnis befragt zu werden. Alternativ hatten Probanden während der ersten Sitzung nach der SRTT, als eine nicht mit dem prozeduralen Material interagierende Aufgabe, Vokale gezählt. Nach einer zwölfstündigen Pause, bei der die Probanden tagsüber wach waren, hatten die Probanden in der zweiten Sitzung abermals die SRTT ausgeführt, um anschließend zum freien Abruf der Sequenz aus dem Gedächtnis befragt zu werden. Probanden, die mehr als drei zusammenhängende Elemente der Sequenz erkannt hatten, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Grundsätzlich wiesen die Probanden, die eine Wortliste auswendig gelernt hatten, eine Leistungsminderung in der SRTT bei der Abruf-Sitzung auf, während hingegen die Probanden, die Vokale gezählt hatten, eine Leistungssteigerung in der SRTT aufwiesen. Bei detaillierter Betrachtung wiesen Probanden, die eine Wortliste auswendig gelernt hatten und wach bleiben mussten, eine Leistungsminderung in der SRTT während der Abruf-Sitzung auf, wohingegen die Probanden, die Vokale gezählt hatten und wach bleiben mussten, eine Leistungssteigerung aufwiesen. In vergleichbarem Maße konnten Probanden, die eine Wortliste auswendig gelernt hatten und nachts über schlafen mussten, in der Abruf-Sitzung eine Leistungssteigerung nachweisen. Des Weiteren war eine Korrelation in der Leistung der SRTT und der Wortliste zu beobachten: Je mehr Worte die Probanden wiedergeben konnten, desto schneller waren sie in der SRTT der Abruf-Sitzung. Aufgrund dieser Studienergebnisse und unter Einbeziehung anderer Studienergebnisse haben Brown und Robertson ein Modell entwickelt, welches versucht, neuroanatomische Strukturen und Funktionalität der Gedächtnissysteme in Einklang zu bringen. Wie zuvor beschrieben, sind deklarative Gedächtnisinhalte vom medialen Temporallappen – mit dem Hippocampus als wichtigstes Element – und Neocortex sowie prozedurale Gedächtnisinhalte vom primären Motorcortex und den Basalganglien – insbesondere dem Striatum – abhängig. Interaktionen zwischen den Gedächtnissystemen finden trotz scheinbarer neuroanatomischer Trennung statt – dies ließe sich aufgrund von direkten

oder indirekten Verbindungen erklären; für indirekte Verbindungen wird in erster Linie der präfrontale Cortex verantwortlich gemacht. Alternativ wäre es möglich, dass auf neuroanatomischer Ebene gemeinsam genutzte Strukturen vorhanden wären – hierfür wird der mediale Temporallappen ins Feld geführt, welcher sowohl mit deklarativer als auch prozeduraler Gedächtnisbildung in Verbindung gebracht wird. Im Schlaf kommt es nun zu weitreichenden neurochemischen und neurophysiologischen Veränderungen, die möglicherweise zu einer funktionellen Entkopplung der Gedächtnissysteme mit dem Ergebnis führen, dass indirekte oder direkte Verbindungen gekappt würden und weniger Interaktionen stattfinden. Alternativ wäre es auch möglich, dass sich im Schlaf neue Pfade öffnen, die Langzeitgedächtnissysteme völlig eigene neuroanatomische Strukturen nutzen und somit die Interaktion zwischen den Gedächtnissystemen aufgehoben würde (Brown und Robertson, 2007b).

1.6 Fragestellung und Hypothesen

Anknüpfend an die Studie von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) ist das Ziel dieser Studie, Interaktionen im Wachzustand und die Rolle des Schlafes zu untersuchen. Die Interaktionen finden Ausdruck in konkurrierender Interferenz zwischen prozeduralen und deklarativen Gedächtnisinhalten im Wachzustand. Eine Entkopplung im Schlaf würde Ausdruck in nicht-konkurrierender Interferenz zwischen prozeduralen und deklarativen Gedächtnisinhalten finden:

- 1) Nach einer Wachphase sollte nach dem Lernen einer Wortliste eine schlechtere Leistung in der SRTT als nach dem Vokale-zählen zu messen sein.
- 2) Nach einer Schlafphase sollte nach dem Lernen einer Wortliste eine vergleichbare Leistung in der SRTT als nach dem Vokale-zählen zu messen sein.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die Studie entspricht dem sog. „between-subject-Design“¹ und wurde randomisiert, kontrolliert sowie einfachblind durchgeführt. An der Studie nahmen 60 Probanden teil. Diese wurden zufällig und ohne deren Einflussnahme auf vier Gruppen aufgeteilt: Zunächst wurden je 16 Teilnehmer auf die beiden Kontrollgruppen und je 14 Teilnehmer auf die beiden Experimentalgruppen verteilt. Es gab jeweils zwei Wach- und Schlafgruppen, die entweder Wortlisten zu lernen oder Vokale zu zählen hatten. Den Kontrollgruppen gehörten die Probanden, die Vokale zu zählen hatten, an, den Experimentalgruppen diejenigen Probanden, die Wörter auswendig zu lernen hatten.

2.2 Probanden

Die Probanden wurden über Aushänge in der Universitätsklinik und der Universität sowie über die studentischen E-Mail-Verteiler der Universität und Fachhochschule Lübeck akquiriert. In die Teilnahme an der Studie wurden sowohl Frauen als auch Männer im Alter von 18 bis 30 Jahren mit allgemeiner Hochschulreife und Deutsch als Muttersprache eingeschlossen. Relevant für die Auswahl waren insbesondere der Status des Nichtraucher, ein regelmäßiger Schlaf-Wach-Rhythmus (zwischen 23:00 und 08:00 Uhr) und dass die Probanden keine Nachtdienste in den vergangenen drei Wochen abgeleistet haben sollten. Neurologische, psychiatrische oder andere Grunderkrankungen sowie die regelmäßige Einnahme von Medikamenten – mit Ausnahme der „Pille“ – waren ebenso Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie wie die vorherige Teilnahme an einer SRTT (Brown und Robertson, 2007b). Zwischen der Teilnahme an eventuellen vorherigen Studien waren ein Abstand von sechs Wochen gewährleistet und parallele Studienteilnahmen untersagt. Beim telefonischen Erstgespräch wurden die Probanden durch den Studienleiter über den zeitlichen Ablauf der Studie aufgeklärt und darüber informiert, dass es Schlaf- und Wachgruppen gab. Außerdem wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass sie an den Versuchstagen weder Koffein noch Alkohol trinken durften, bis spätestens 08:00 Uhr aufstehen, keinen Mittagsschlaf halten, normale Mahlzeiten zu sich nehmen und sich keinen außergewöhnlichen physischen oder psychischen Anstrengungen – z.B. Marathonlauf oder Prüfungen – aussetzen sollten. Hintergründe der Studie oder weitere Details wurden darüber hinaus nicht erläutert. Die Versuche fanden schließlich vom 04. September 2009 bis zum 18. August 2010 statt. Je nach Zuordnung zu den Gruppen erhielten die Probanden für ihre

¹ Beim between-subject-design nehmen Probanden nur an einer der vier Bedingungen teil.

Teilnahme an der Studie eine Aufwandsentschädigung von bis zu 100,00 Euro (30,00 Euro für die Wachgruppen, 70,00 Euro für die Schlafgruppen und ggf. 30,00 Euro für eine Eingewöhnungsnacht).

2.3 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf der Schlaf- und Wachgruppen war grundsätzlich identisch (siehe Abbildung 1 auf Seite 16). Nach Ankunft der Probanden im Schlaflabor erfolgte zunächst die Abklärung, ob die Anweisungen zum Versuchstag aus dem Erstgespräch befolgt wurden; anderenfalls wurde ggf. ein neuer Versuchstermin vereinbart. Waren alle Voraussetzungen für die Teilnahme an der Studie gegeben, wurden die Probanden erneut über den Versuchsablauf aufgeklärt. Auch hier wurde nicht auf die Hintergründe oder weitere Details der Studie eingegangen. Es erfolgte der Hinweis, die Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen zu können. Anschließend wurde das Einverständnis zur Studienteilnahme schriftlich eingeholt. Die Schlaflabore waren so reizarm wie möglich gestaltet; Fenster wurden mit Vorhängen bzw. Jalousien zugezogen und Türen waren schallgedämmt. Für die Durchführung der Versuche konnten die Probanden mit verstellbaren Bürostühlen eine individuell bequeme Position bestimmen und einnehmen. Für die Schlafgruppenteilnehmer gab es in den Räumen auch jeweils ein Bett. Den Probanden der Schlafgruppe wurden nun die Elektroden für die Polysomnographie angebracht. Im Anschluss um 20:00 Uhr wurden zunächst der allgemeine Fragebogen zu den Probandendaten und der Stanford-Schläfrigkeitsskala-Fragebogen (SSS) ausgefüllt, der Regensburger-Wortflüssigkeits-Test (RWT), der Vigilanztest und die SRTT am Computer durchgeführt, sowie zum Abschluss der Aufgaben entweder Wortlisten auswendig gelernt oder Vokale gezählt. Anschließend schauten sich die Probanden ab 21:00 Uhr einen Film an („König der Löwen“ Teile 2 oder 3, beide ca. 80 Minuten lang) und konnten dann gegen 23:00 Uhr schlafen gehen. Die Probanden wurden am Folgetag zwischen 07:00 und 07:30 Uhr geweckt und die Elektroden entfernt. Es war den Probanden erlaubt duschen zu gehen, bevor im Anschluss gegen 08:00 Uhr mit der Fortführung der Versuche begonnen wurde. Die Fortführung wurde mit der Abruf-Sitzung der SRTT eingeleitet. Anschließend wurden die Probanden zum freien Abruf der SRTT-Sequenz aus dem Gedächtnis befragt. Abschließend mussten die Probanden erneut einen Vigilanztest absolvieren, den SSS-Fragebogen ausfüllen und den RWT durchführen.

Abbildung 1: Verdeutlichung des zeitlichen Ablaufs der Versuche

08:00 Uhr	Lernen & Vokale	12 Stunden Wach	Abruf um 20:00 Uhr
20:00 Uhr	Lernen & Vokale	8 Stunden Schlaf	Abruf um 08:00 Uhr
08:00 Uhr	Lernen & Wortliste	12 Stunden Wach	Abruf um 20:00 Uhr
20:00 Uhr	Lernen & Wortliste	8 Stunden Schlaf	Abruf um 08:00 Uhr

Dargestellt werden die zeitlichen Abläufe der Kontroll- (oben) und Experimentalgruppen (unten). Die Probanden hatten entweder Vokale zu zählen (Kontrollgruppen) oder Wortlisten auswendig zu lernen (Experimentalgruppen). Bei den Wachgruppen lag zwischen den beiden Versuchssitzungen eine zwölfstündige Wachphase, die Probanden der Schlafgruppen mussten zwischen den beiden Versuchssitzungen acht Stunden schlafen.

Bei den Probanden der Wachgruppe verschob sich der Versuchsablauf um zwölf Stunden nach vorne. Nach Einholung der schriftlichen Einverständniserklärung der Probanden zur Teilnahme an der Studie wurde – in derselben zeitlichen Abfolge wie bei den Schlafgruppen – direkt um 08:00 Uhr mit den Fragebögen begonnen, um anschließend den Vigilanztest und das Lernen der SRTT durchzuführen. In der Folge mussten wiederum entweder Wortlisten erlernt oder Vokale gezählt werden. Die Probanden konnten nach einem erneuten Hinweis auf die Verhaltensweisen für den Tagesablauf die Schlaflabore zwischenzeitlich verlassen und kehrten um 20:00 Uhr wieder zurück. Die Versuche wurden wiederum mit der Abruf-Sitzung der SRTT eingeleitet. Anschließend wurden die Probanden zum freien Abruf der SRTT-Sequenz aus dem Gedächtnis befragt. Im weiteren Verlauf absolvierten sie den Vigilanztest, füllten den SSS-Fragebogen aus und führten den RWT durch. Darüber hinaus wurden sie gebeten, stichwortartig ihren Tagesablauf zu dokumentieren.

2.4 Gedächtnistests

Im Mittelpunkt der Studie, die auf eine frühere Studie von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) aufbaute, stand die Untersuchung des Einflusses deklarativen Lernens auf die Konsolidierung von prozeduralen Gedächtnisinhalten. Die SRTT bildet das implizierte Lernen von motorischen Fertigkeiten und dementsprechend die Konsolidierung des prozeduralen Gedächtnisses ab. Durch das Auswendiglernen einer Wortliste (modifiziert nach Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) wurde der Einfluss deklarativen Lernens auf die Konsolidierung von der SRTT in den Experimentalgruppen untersucht. Bei den Kontrollgruppen wurde das Vokale-zählen ohne Einflussnahme auf die Konsolidierung der SRTT angewandt. Bei der SRTT war auf einem Computerbildschirm auf weißem Hintergrund ein Rechteck zu sehen, das in vier aneinandergereihte Felder unterteilt

war. Die Probanden hatten die Finger II bis V ihrer dominanten Hand auf der Computertastatur entspannt über den nebeneinander liegenden Tasten „V“, „B“, „N“ und „M“ liegen, so dass beim Rechtshänder der Zeigefinger über der Taste „V“, der Mittelfinger über „B“ usw. lag. Das erste Feld im Rechteck auf dem Bildschirm wurde also durch die Taste „V“, das zweite Feld durch die Taste „B“ usw. repräsentiert. Während des Tests leuchteten in den Feldern blaue Punkte auf. Zur selben Zeit erschien dabei maximal ein blauer Punkt. Die Probanden wurden für die Durchführung des Tests angewiesen, auf das Aufleuchten eines blauen Punktes in einem der Felder möglichst schnell und korrekt die jeweils zugehörige Taste auf der Computertastatur zu drücken; der blaue Punkt verschwand, sobald die zugehörige Taste gedrückt wurde.

Die SRTT war in zwei Sitzungen aufgeteilt. Der erste Teil – die „Lern-Sitzung“ – begann zunächst mit einem Übungsdurchlauf, bei dem der Versuchsleiter persönlich überprüfte, ob die Teilnehmer die Aufgabe richtig erfasst hatten. Daraufhin folgten drei Blöcke mit der implizit zu lernenden und zwölf Elemente umfassenden Sequenz (2-3-1-4-3-2-4-1-3-4-2-1). Der erste Block bestand aus 15 Wiederholungen der Sequenz, der zweite Block aus 25 Wiederholungen und der dritte Block abermals aus 15 Wiederholungen. Vor und nach jedem Block waren kurze Abschnitte mit 50 zufälligen Abfolgen eingestreut. Nach zwölf Stunden bestand der zweite Teil – die „Abruf-Sitzung“ – aus lediglich einem Block mit 15 Wiederholungen der implizit zu lernenden Sequenz, welche wiederum von kurzen Abschnitten mit 50 zufälligen Abfolgen flankiert wurde (siehe Abbildung 2). Abschließend zur SRTT wurden die Probanden gefragt, ob ihnen bei dieser Aufgabe etwas aufgefallen sei. Falls nicht, wurde nicht weiter nachgehakt. Im positivem Falle sollten sie beschreiben, was ihnen aufgefallen sei und, falls eine Sequenz erkannt wurde, wurden sie gebeten, diese ggf. wiederzugeben.

Abbildung 2: Verdeutlichung des Aufbaus der serial reaction-time task (SRTT).

Lern-Sitzung						Pause	Abruf-Sitzung		
50	180	50	300	50	180		50	50	50

Dargestellt wird der Aufbau der SRTT: In den grauen Kästchen sind die Blöcke mit den 50 zufälligen Abfolgen abgebildet, die jeweils die Blöcke mit der zwölf Elemente umfassende Sequenz flankieren. Das weiße Kästchen stellt die zwölfstündige Pause zwischen der Lern- und Abruf-Sitzung dar. Während der Lern-Sitzung führten die Probanden drei Blöcke mit der zwölf Elemente umfassenden Sequenz durch: Zwei Blöcke umfassten 15 Wiederholungen der Sequenz, sodass der Block insgesamt 180 Abfolgen enthielt und der mittlere Block umfasste 25 Wiederholungen der Sequenz, sodass 300 mal Tasten gedrückt werden mussten. In der Abruf-Sitzung gab es nur einen Block der Sequenz mit 15 Wiederholungen, auch hier mussten 180 mal Tasten gedrückt werden.

Zunächst wurden wie bei Brown und Robertson Probanden ausgeschlossen, sofern sie mehr als drei richtig zusammenhängende Teile der Sequenz erkannt hatten. Von der Auswertung wurden hierdurch zunächst 22 Probanden ausgeschlossen. Darüber hinaus schlossen Brown und Robertson einzelne Werte der SRTT aus, bei denen die falsche Taste gedrückt wurde und bei denen die Reaktionszeiten die 2,7-fache Standardabweichung überschritten. Anlehnend hieran erfolgte in dieser Studie der Ausschluss einzelner Werte, sofern diese von einer Reaktionszeit mit 150–1000 ms abwichen. Dieses Kriterium kam der Auswertung von Brown und Robertson am nächsten. Alternativ werden im Ergebnisteil Daten von allen 60 Probanden berichtet: Also ohne Ausschluss von Probanden, die auch zusammenhängende Teile der Sequenz erkannt haben. Jedoch wurden, vergleichbar mit den Ausschlusskriterien von Brown und Robertson, einzelne Werte der SRTT ausgeschlossen, bei denen die falsche Taste gedrückt wurde und bei denen die Reaktionszeiten von 150–1000 ms abwichen. Zusätzlich wurden aus den durchschnittlichen Reaktionszeiten der SRTT verschiedene Vergleichswerte ermittelt: Zunächst wurde ein „Lern-Score“ aus der Differenz der Reaktionszeiten der „Lern-Sitzung“ aus den Blöcken mit den zufälligen Sequenzen und den Blöcken mit der Test-Sequenz gebildet; aus der Differenz der Reaktionszeiten der „Abruf-Sitzung“ aus den Blöcken mit den zufälligen Sequenzen und dem Block mit der Test-Sequenz wurde ein „Abruf-Score“ gebildet. Außerdem wurde das Δ als Maß für prozedurale Konsolidierung aus dem „Lern-Score“ und dem „Abruf-Score“ gebildet („ Δ -Score“)(Brown und Robertson, 2007b).

Um die Interaktion der prozeduralen Aufgabe mit deklarativem Material zu testen, hatten die Probanden der Experimentalgruppen eine 32 Worte umfassende Wortliste auswendig zu lernen (siehe Anhang, Seite 50). Während Brown und Robertson in ihren Versuchen eine 16 Worte umfassende Liste gebrauchten (Brown und Robertson, 2007b), kam bei den zugrundeliegenden Versuchen eine auf 32 Worte erweiterte Wortliste zum Einsatz, da bereits vier Probanden einer Pilotstudie beim freien Abruf alle zunächst nur 16 verwandten Worte wiederholen konnten. Diese vier Probanden wurden bei der Auswertung der Studiendaten nicht eingeschlossen. Zur Versuchsdurchführung saßen die Versuchspersonen vor einem Bildschirm mit weißen Hintergrund. Für zwei Sekunden wurden jeweils einzelne Worte eingeblendet und durch das darauf folgende prompt ersetzt, bis alle 32 Worte angezeigt worden waren. Die Wortliste wurde insgesamt fünf Mal präsentiert. Nach jeder Präsentation wurden die Worte in einem freien Abruf durch den Versuchsleiter persönlich abgefragt und auf einer Checkliste vermerkt, wobei die einzelnen Worte in beliebiger Reihenfolge

wiedergegeben werden konnten. Ein Hinweis auf die Richtigkeit der Wortwiedergabe erfolgte nicht. Nach einer zehnmütigen Pause wurden die Worte abermals, ohne dass diese jedoch vorher am Bildschirm präsentiert wurden, abgefragt.

Die Probanden der Kontrollgruppen hatten Vokale zu zählen. Hierzu wurden auf einem Bildschirm mit weißem Hintergrund willkürlich festgelegte Buchstabenfolgen angezeigt. Eine Buchstabenfolge umfasste drei bis zwölf sich in einer Reihe befindlichen Buchstaben, die jeweils für zwei Sekunden angezeigt wurden, ehe sie durch die darauf folgende Buchstabenfolge ersetzt wurden. Ad hoc hatten die Probanden die Vokale zu zählen und dem persönlich anwesenden Versuchsleiter zu beziffern (beispielsweise „srmoghanntke“ mit drei Vokalen). Auch hier erfolgte ein entsprechender Vermerk auf einem Arbeitsblatt. Für den Fall, dass innerhalb einer Buchstabenfolge derselbe Vokal zweimal auftauchte, mussten die Teilnehmer diesen bloß einfach zählen.

2.5 Polysomnographie

Bei den Teilnehmern der Schlafgruppen wurde eine Polysomnographie durchgeführt. Fünf bis sieben Tage vor dem eigentlichen Versuchstag wurde mit den Probanden zur Gewöhnung an die besonderen Umstände eine Eingewöhnungsnacht durchgeführt, auf die verzichtet werden konnte, wenn ein Studienteilnehmer innerhalb der vergangenen drei Monate an einer anderen Studie in demselben Schlaflaboratorium teilgenommen hatte. Die Aufzeichnung der elektrischen Hirnaktivität erfolgte mittels eines Elektroenzephalographen, der Augenmuskelaktivität mittels eines Elektroofokulographen und der Aktivität der perioralen Muskulatur mittels eines Elektromyographen. Die entsprechenden Hautpartien wurden vor Anbringung der Elektroden mit einer alkoholhaltigen Desinfektionslösung (Cutasept® F, BODE Chemie GmbH, Hamburg, Deutschland) und einer Peelingcreme (Everi, Spes medica, Battipaglia, Italien) gereinigt und angeraut. Für die bessere Haftung der Elektroden und der weiteren Verringerung des Hautwiderstandes wurde eine Leitpaste zwischen Kopfhaut (EC2® Genuine Grass Electrode Cream, Astro-Med GmbH, Rodgau, Deutschland) bzw. Gesichtshaut (Synapse Conductive Electrode Cream, Med-Tek/Synapse, Arcadia, Kalifornien, USA) und Elektrode verwendet. Im Gesicht wurden die Elektroden mit einem Klebering (EKG-Klebering 20 × 8 mm, Hellige, GE Medical Systems Deutschland GmbH & Co. KG, Solingen, Deutschland) für eine bessere Haftung auf der Haut versehen. Zusätzlich wurden die Elektroden mithilfe von Pflaster (3M Micropore) fixiert. Sowohl die Referenzelektrode als auch die EEG-Elektroden sollten keinen höheren Widerstand als

5 k Ω und die Erdungs-, EMG- sowie EOG-Elektroden keine höhere Impedanz als 20 k Ω aufweisen. Dies wurde durch zweifache Kontrolle sichergestellt; zunächst erfolgte die Widerstandsmessung mit einem handlichen Messgerät (2 Electrodes Impedance Meter, Temec Instruments B.V., Kerkrade, Niederlande) und kurz nach dem Zubettgehen mithilfe des Vision-Recorders (Brain Products GmbH, Gilching, Deutschland). Im Rahmen der Elektroenzephalographie wurden sechs Elektroden an den Stellen – entsprechend des 10-20 Systems von Jasper (1958) – F3, F4, C3, C4, P3 und P4 angebracht. Die Erdungselektrode wurde in der Mitte der Stirn, die Referenzelektrode lateral etwas unterhalb der Nasenwurzel am knöchernen Nasenrücken befestigt. Zur bipolaren Registrierung der Muskelaktivität wurden die Elektroden am Kinn und zur bipolaren Aufzeichnung der Augenmuskelaktivität diagonal am Orbitarand angebracht. Die Aufzeichnung und Verstärkung des Polysomnogramms erfolgte mithilfe des Brain Vision BrainAmp DC (Brain Products GmbH, Gilching, Deutschland) bei einer Samplingrate von 200 Hz. Im Anschluss an die Aufzeichnung wurden EEG und EOG mit einem 0.15–35 Hz-Filter sowie EMG mit einem 0.15–90 Hz-Filter gefiltert. Die Auswertung der Hypnogramme erfolgte nach der von Rechtschaffen und Kales international etablierten Klassifikation (Rechtschaffen und Kales, 1968) mithilfe des Programms „SchlafAus 1.5.0.1“ von Steffen Gais (2000).

2.6 Kontrollvariablen

Für die Erhebung allgemeiner Probandendaten kam ein allgemeiner Fragebogen zur Anwendung. Darüber hinaus wurden zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Gruppen hinsichtlich von Wachheit und Aufmerksamkeit ein siebenstufiger Fragebogen zur subjektiven Beurteilung der Schläfrigkeit (Stanford-Schläfrigkeitsskala, (Hoddes et al., 1973) und ein formallexikalischer Wortflüssigkeitstest (Teil des Regensburger Wortflüssigkeitstests nach Aschenbrenner et al. (Aschenbrenner et al., 2000)) eingesetzt sowie von einem computergestützten Vigilanztest zur objektiven Einschätzung der Aufmerksamkeit unterstützt. Fragebögen und Tests sind im Anhang (siehe Seiten 51 ff.) abgedruckt. Mithilfe der SSS konnten die Probanden ihr aktuelles Schläfrigkeitsgefühl subjektiv auf einer Skala von eins bis sieben (Wert 1: „Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach“ bis Wert 7: „Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen, habe traumähnliche Gedanken“) angeben. Im Rahmen des RWTs mussten die Probanden – nach vorhergehender mündlicher Erklärung mit Benennung von Beispielen – innerhalb von zwei Minuten so viele Worte wie möglich mit demselben Anfangsbuchstaben – entweder „m“ oder „p“ – handschriftlich notieren; Eigennamen und Fremdworte zählten nicht, Wörter mit

demselben Wortstamm wurden nur einfach gezählt. Die Probanden absolvierten einen psychomotorischen Vigilanztest mit einer Dauer von ca. zehn Minuten am Computer. Hierbei leuchtete ein roter Punkt auf schwarzem Hintergrund jeweils entweder in der linken oder rechten Bildschirmhälfte auf, wobei er jeweils an einer fest definierten Position erschien. Die Probanden hatten möglichst schnell und korrekt zu reagieren, indem sie die Taste „X“ für den linken Punkt mit dem linken Zeigefinger und die Taste „M“ für den rechten Punkt mit dem rechten Zeigefinger drückten. Reaktionszeiten größer als fünf Sekunden flossen nicht in die Bewertung mit ein. Reaktionszeiten flossen als mittlere Reaktionszeit in Millisekunden ein und es folgte die Angabe in Prozent, wie häufig die Probanden eine falsche Taste („Fehler“) drückten, sowie ebenfalls in Prozent, wie häufig sie eine Reaktionszeit größer als 500 Millisekunden („Verpasser“) aufwiesen.

2.7 Statistische Auswertung

Die gewonnenen Daten wurden mithilfe des Statistikprogrammes „SPSS“ (IBM Statistical Product and Service Solution Statistics, Version 22.0) statistisch ausgewertet. Im Ergebnisteil werden die Auswertung der SRTT aller Probanden, d.h. ohne Ausschlüsse, der Auswertung gegenübergestellt, die den strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson entspricht. Die Ergebnisse der Kontrollvariablen und Schlafauswertungen werden mit den strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) präsentiert. Die SRTT und die Kontrollvariablen wurden zunächst mithilfe einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen untersucht. Als Faktoren wurden Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe sowie Lernen/Abruf definiert. Die Schlafdaten und die Ergebnisse der Wortlisten wurden mithilfe von unabhängigen t-Tests überprüft. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurden die allgemeinen Probandendaten und mittels Chi-Quadrat-Tests die Geschlechteraufteilung auf Unterschiede getestet. Als Post-hoc-Tests kamen ggf. t-Test und ANOVAs zur Anwendung. Das statistische Signifikanzniveau wurde als $p \leq 0,05$ definiert. Die Ergebnisse werden als Mittelwerte \pm Standardfehler (SEM = engl. „standard error of the mean“) angegeben.

3. Ergebnisse

Im Rahmen der Anfertigung der vorliegenden Arbeit wurden die Daten von insgesamt 64 Probanden erhoben. Durch eine kleine vorab durchgeführte Pilotstudie wurden vier Probanden ausgeschlossen. Somit flossen in die statistische Auswertung zunächst die Daten von insgesamt 60 Probanden ein. Die Gruppenzugehörigkeit hatte weder Einfluss auf das mittlere Alter der Gruppen ($F = 0,589$; $p = 0,625$) noch auf die Geschlechteraufteilung der Gruppen ($X^2 = 2,852$; $p = 0,415$). Das mittlere Alter der Probanden der Schlaf-Wortliste-Gruppe (SWL) betrug $21,64 \pm 0,50$ Jahre, der Gruppe gehörten ein männlicher und 13 weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der Schlaf-Vokale-Gruppe (SVC) betrug $22,63 \pm 0,52$ Jahre, der Gruppe gehörten vier männliche und zwölf weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der Wach-Wortliste-Gruppe (WWL) betrug $22,57 \pm 0,56$ Jahre, der Gruppe gehörten vier männliche und zehn weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der Wach-Vokale-Gruppe (WVC) betrug $22,56 \pm 0,75$ Jahre, der Gruppe gehörten fünf männliche und elf weibliche Probanden an. Damit setzten sich die Kontrollgruppen aus jeweils 16 und die Experimentalgruppen aus jeweils 14 Probanden zusammen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Alter und Anzahl der weiblichen bzw. männlichen Probanden sowie die Gruppengröße (Probandenanzahl) der einzelnen Gruppen ohne Ausschluss von Probanden.

	Alter	♂	♀	Gruppengröße
SWL	$21,64 \pm 0,50$	1	13	14
SVC	$22,63 \pm 0,52$	4	12	16
WWL	$22,57 \pm 0,56$	4	10	14
WVC	$22,56 \pm 0,75$	5	11	16

Angegeben sind der Mittelwert \pm SEM des Alters in Jahren, die Anzahl der weiblichen bzw. männlichen Probanden sowie die Gruppengröße der einzelnen Gruppen. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Aufgrund der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) wurden weitere 22 Probanden von der statistischen Auswertung ausgeschlossen. Die strengen Ausschlusskriterien in diesem Sinne waren das Erkennen von mehr als drei zusammenhängenden Teilen der SRTT-Sequenz und SRTT-Reaktionszeiten, die außerhalb von 150–1000ms lagen. Hiernach wurden von den 60 an der Studie teilnehmenden

Probanden also verbleibende 38 Probanden einer weiteren statistischen Analyse unterzogen. Die Gruppenzugehörigkeit hatte weder Einfluss auf das mittlere Alter der Gruppen ($F = 1,186$; $p = 0,330$) noch auf die Geschlechteraufteilung der Gruppen ($X^2 = 3,161$; $p = 0,368$). Das mittlere Alter der Probanden der SWL betrug $21,57 \pm 0,61$ Jahre, der Gruppe gehörten keine männlichen und sieben weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der SVC betrug $22,80 \pm 0,53$ Jahre, der Gruppe gehörten vier männliche und elf weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der WWL betrug $22,71 \pm 0,52$ Jahre, der Gruppe gehörten ein männlicher und sechs weibliche Probanden an. Das mittlere Alter der Probanden der WVC betrug $23,67 \pm 1,05$ Jahre, der Gruppe gehörten drei männliche und neun weibliche Probanden an. Damit setzten sich die SWL aus 15 und die WVC aus neun sowie die Experimentalgruppen aus jeweils sieben Probanden zusammen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Alter und Anzahl der weiblichen bzw. männlichen Probanden sowie die Gruppengröße (Probandenanzahl) der einzelnen Gruppen nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	Alter	♂	♀	Gruppengröße
SWL	$21,57 \pm 0,61$	0	7	7
SVC	$22,80 \pm 0,53$	4	11	15
WWL	$22,71 \pm 0,52$	1	6	7
WVC	$23,67 \pm 1,05$	3	9	9

Angegeben sind der Mittelwert \pm SEM des Alters der Probanden in Jahren, die Anzahl der weiblichen bzw. männlichen Probanden sowie die Gruppengröße der einzelnen Gruppen. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

3.1 Gedächtnistests

Zunächst werden die Ergebnisse der SRTT ohne Ausschluss von Probanden präsentiert. Die Lern- und Abruf-Scores der SRTT der einzelnen Gruppen sind in der Tabelle 3 (siehe Seite 24) zusammengefasst. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die Leistung in der SRTT offen ($F = 2,326$; $p = 0,133$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,100$; $p = 0,753$) sowie Lernen/Abruf und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 0,647$; $p = 0,425$) ist keine Interaktion zu beobachten. Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf,

Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe ist ebenfalls keine signifikante Interaktion festzustellen ($F = 1,814$; $p = 0,183$). Auch ist kein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,015$; $p = 0,903$), der Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,328$; $p = 0,569$) sowie keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,718$; $p = 0,400$) bei der Leistung in der SRTT zu beobachten. Eine zweifaktorielle ANOVA legt keinen signifikanten Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,100$; $p = 0,753$) sowie der Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,647$; $p = 0,425$) offen und es besteht ebenfalls keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 1,814$; $p = 0,183$) bei der Leistung in der SRTT.

Tabelle 3: Übersicht über die Lern-, Abruf- und Δ -Scores der serial reaction-time task ohne Ausschluss von Probanden.

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Score	84,21 \pm 11,60	82,88 \pm 14,65	84,87 \pm 12,60	84,11 \pm 15,39
Abruf-Score	116,53 \pm 21,99	80,37 \pm 13,32	90,26 \pm 16,81	98,28 \pm 15,43
Δ -Score	32,32 \pm 20,07	-2,51 \pm 8,34	5,39 \pm 16,80	14,17 \pm 18,00

Angegeben werden die Mittelwerte \pm SEM der Lern-, Abruf-Scores und der Δ -Scores in Millisekunden. Der Δ -Score bezieht sich auf die Differenz von Abruf-Score und Lern-Score. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Im Folgenden werden die Ergebnisse nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) der SRTT präsentiert. Die Lern- und Abruf-Scores der SRTT der einzelnen Gruppen sind in der Tabelle 4 (siehe Seite 25) zusammengefasst. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die Leistung in der SRTT offen ($F = 0,052$; $p = 0,821$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,036$; $p = 0,851$) sowie Lernen/Abruf und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 0,679$; $p = 0,416$) ist keine Interaktion zu beobachten. Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe ist ebenfalls keine signifikante Interaktion festzustellen ($F = 0,554$; $p = 0,462$). Auch ist kein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,000$; $p = 0,987$) und der Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,239$; $p = 0,628$) sowie keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,412$; $p = 0,525$) bei der Leistung in der SRTT zu beobachten. Eine zweifaktorielle

ANOVA legt keinen signifikanten Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,036$; $p = 0,851$) und der Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,679$; $p = 0,416$) nahe und es ist auch keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,554$; $p = 0,462$) bei der Leistung in der SRTT zu beobachten.

Tabelle 4: Übersicht über die Lern-, Abruf- und Δ -Scores der serial reaction-time task nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Score	54,71 \pm 17,43	67,86 \pm 12,04	68,90 \pm 10,04	55,95 \pm 17,67
Abruf-Score	57,10 \pm 11,76	71,37 \pm 11,00	58,07 \pm 13,23	67,32 \pm 9,97
Δ -Score	2,39 \pm 9,77	3,51 \pm 8,97	-10,83 \pm 17,80	11,37 \pm 18,47

Angegeben werden die Mittelwerte \pm SEM der Lern-, Abruf- und der Δ -Scores in Millisekunden. Der Δ -Score bezieht sich auf die Differenz von Abruf-Score und Lern-Score. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Die Probanden der Wortliste-Gruppen hatten während der Lern-Sitzung Worte auswendig zu lernen. Nach einer zehnminütigen Pause wurden die Probanden ohne vorherige Präsentation der Worte gebeten, diese frei wiederzugeben. Die SWL – ohne Ausschluss von Probanden – konnte im Mittel $28,64 \pm 0,87$ Worte und die WWL $29,43 \pm 0,51$ Worte wiedergeben. Die Ergebnisse der Wortliste-Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($t = -0,780$; $p = 0,442$). Die SWL – mit den strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson 2007b) – konnte im Mittel $29,14 \pm 0,77$ Worte und die WWL $29,57 \pm 0,57$ Worte wiedergeben. Auch die Ergebnisse der Wortliste-Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($t = -0,447$; $p = 0,663$).

3.2 Schlafdaten

Im Folgenden werden die Schlafdaten für die Probanden mit den strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) dargestellt, da sich die Hauptergebnisse unter Anwendung der beiden Ausschlussmodi nicht unterscheiden. Bei der Auswertung der polysomnographischen Aufzeichnungen wurde eine durchschnittliche Gesamtschlafenszeit von $473,79 \pm 11,05$ Minuten bei der SWL und von $476,24 \pm 8,14$ Minuten bei der SVC festgehalten. Die Probanden wiesen sowohl genügend Tiefschlaf – mit $51,29 \pm 7,00$ Minuten ($11,01 \pm 1,68\%$) für die SWL und $39,47 \pm 4,80$ Minuten

($8,29 \pm 1,01\%$) für die SVC – als auch REM-Schlaf – mit $84,29 \pm 10,41$ Minuten ($17,70 \pm 2,04\%$) für die SWL und $83,65 \pm 4,73$ Minuten ($17,63 \pm 1,05\%$) für die SVC – auf. Zwischen der SWL und SVC sind keine signifikanten Unterschiede zu beobachten (siehe Tabelle 5). Daten zweier Probanden der SWL konnten in diese Auswertung aufgrund technischer Probleme bei der polysomnographischen Aufzeichnung nicht mit einbezogen werden.

Tabelle 5: Übersicht über die einzelnen Schlafstadien und deren Verteilung auf die Gesamtschlafenszeit nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	Min.			%		
	SWL	SVC	p1	SWL	SVC	p2
W	$1,43 \pm 0,83$	$3,65 \pm 1,47$	0,307	$0,30 \pm 0,18$	$0,81 \pm 0,34$	0,309
S1	$53,86 \pm 6,22$	$61,97 \pm 6,27$	0,416	$11,37 \pm 1,36$	$13,02 \pm 1,32$	0,434
S2	$282,21 \pm 11,46$	$285,58 \pm 10,20$	0,839	$59,44 \pm 1,40$	$59,83 \pm 1,56$	0,872
S3	$47,00 \pm 6,04$	$37,35 \pm 4,33$	0,207	$10,10 \pm 1,48$	$7,85 \pm 0,92$	0,190
S4	$4,29 \pm 2,40$	$2,12 \pm 1,28$	0,390	$0,91 \pm 0,51$	$0,44 \pm 0,27$	0,375
REM	$84,29 \pm 10,41$	$83,65 \pm 4,73$	0,950	$17,70 \pm 2,04$	$17,63 \pm 1,05$	0,973
MT	$0,71 \pm 0,24$	$1,92 \pm 0,48$	0,096	$0,14 \pm 0,05$	$0,39 \pm 0,10$	0,088
SWS	$51,29 \pm 7,00$	$39,47 \pm 4,80$	0,172	$11,01 \pm 1,68$	$8,29 \pm 1,01$	0,157
TST	$473,79 \pm 11,05$	$476,24 \pm 8,14$	0,861			

Angegeben sind die Daten als Mittelwert \pm SEM der Zeit der einzelnen Schlafstadien in Minuten und deren Anteile in Prozent an der Gesamtschlafenszeit (TST). Weiterhin angegeben sind die Signifikanz p1 der Schlafdaten in Minuten sowie die Signifikanz p2 der Schlafdaten in Prozent. Abkürzungen: W = wach, S1 = Schlafphase 1, S2 = Schlafphase 2, S3 = Schlafphase 3, S4 = Schlafphase 4, REM = REM-Schlaf, MT = Bewegungszeit, SWS = Tiefschlaf, TST = Gesamtschlafenszeit, SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe.

3.3 Kontrollvariablen

Im Folgenden werden die Kontrollvariablen für die Probanden mit den strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) dargestellt, da sich die Hauptergebnisse unter Anwendung der beiden Ausschlussmodi nicht unterscheiden. Die subjektive Einschätzung der Müdigkeit wurde mithilfe der SSS zu zwei Zeitpunkten durchgeführt. Die einzelnen Werte der SSS der Lern- und Abruf-Sitzung der einzelnen Gruppen sind der Tabelle 6 (siehe Seite 27) zu entnehmen. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt einen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die sub-

jektive Einschätzung der Schläfrigkeit dar ($F = 5,589$; $p = 0,024$). Die Probanden sind bei der Abruf-Sitzung ($2,97 \pm 0,16$) grundsätzlich schläfriger als bei der Lern-Sitzung ($2,39 \pm 0,12$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,042$; $p = 0,839$) sowie zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 0,435$; $p = 0,514$) sind keine Interaktionen zu beobachten. Schließlich ist keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe festzustellen ($F = 1,507$; $p = 0,228$). Ein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ist nicht zu beobachten ($F = 0,045$; $p = 0,833$), wohl aber ein hoch signifikanter Haupteffekt der Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 8,191$; $p = 0,001$). Die Probanden der Wortliste-Gruppen ($2,25 \pm 0,15$) sind grundsätzlich weniger schläfrig als die der Vokale-Gruppen ($2,94 \pm 0,11$). Eine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen findet nicht statt ($F = 0,024$; $p = 0,877$).

Tabelle 6: Übersicht über die Daten der Stanford-Schläfrigkeitsskala nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Sitzung	$2,14 \pm 0,26$	$2,47 \pm 0,22$	$2,00 \pm 0,22$	$2,78 \pm 0,22$
Abruf-Sitzung	$2,29 \pm 0,52$	$3,40 \pm 0,24$	$2,57 \pm 0,20$	$3,11 \pm 0,26$

Angegeben werden die Mittelwerte \pm SEM der Stanford-Schläfrigkeitsskala. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Die Testung der kognitiven Leistungsfähigkeit mithilfe des RWTs wurde zu zwei Zeitpunkten durchgeführt. Die einzelnen Werte des RWTs der Lern- und Abruf-Sitzung der einzelnen Gruppen sind der Tabelle 7 (siehe Seite 28) zu entnehmen. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die kognitive Leistungsfähigkeit offen ($F = 0,059$; $p = 0,809$). Eine signifikante Interaktion besteht allerdings zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 7,894$; $p = 0,008$). Der Zeitpunkt wirkt sich also unterschiedlich auf die kognitive Leistungsfähigkeit der Schlaf- und Wachgruppe aus. Die zur weiteren Untersuchung der Interaktion zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppen durchgeführten t-Tests legen offen, dass bei der WVC der Unterschied zwischen den Sitzungen signifikant ($t = -3,578$; $p = 0,007$) ist. Die Probanden der WVC weisen bei der Abruf-Sitzung eine höhere kognitive Leistungsfähigkeit auf. Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf sowie

Wortliste-/Vokale-Gruppe ist weiterhin keine Interaktion zu registrieren ($F = 0,022$; $p = 0,882$). Schließlich ist zwischen den Faktoren Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe keine Interaktion zu beobachten ($F = 0,082$; $p = 0,776$). Es ist kein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,002$; $p = 0,965$), Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,728$; $p = 0,399$) und keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,125$; $p = 0,726$) bei der kognitiven Leistungsfähigkeit festzustellen.

Tabelle 7: Übersicht über die Daten des Regensburger Wortflüssigkeitstests nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Sitzung	19,71 ± 2,41	17,87 ± 1,42	17,14 ± 1,46	16,00 ± 1,49
Abruf-Sitzung	17,86 ± 2,20	15,80 ± 1,31	19,14 ± 1,57	18,67 ± 2,04

Angegeben sind die Mittelwerte ± SEM der Anzahl der aufgeschriebenen Worte. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Die Testung der Wachheit und Aufmerksamkeit mithilfe des Vigilanztests wurde zu zwei Zeitpunkten durchgeführt und unter folgenden drei Gesichtspunkten analysiert: Es erfolgte die Betrachtung der reinen Reaktionszeit in ms sowie der Verpasser- und der Fehlerquote. Die einzelnen Werte der Reaktionszeit des Vigilanztests der Lern- und Abruf-Sitzung der einzelnen Gruppen sind in der Tabelle 8 (siehe Seite 29) zusammengefasst. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die Wachheit und Aufmerksamkeit offen ($F = 0,292$; $p = 0,593$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,049$; $p = 0,827$), Lernen/Abruf und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 1,525$; $p = 0,226$) sowie Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 3,618$; $p = 0,066$) ist keine Interaktion zu beobachten. Ein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,016$; $p = 0,899$) sowie Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,902$; $p = 0,349$) und eine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,162$; $p = 0,690$) bei der Wachheit und Aufmerksamkeit sind nicht zu beobachten.

Tabelle 8: Übersicht über die Reaktionszeiten des Vigilanztests nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Sitzung	354,35 ± 12,63	369,07 ± 11,04	351,29 ± 13,16	370,00 ± 14,32
Abruf-Sitzung	354,71 ± 8,12	374,65 ± 9,18	364,79 ± 13,60	359,56 ± 17,32

Angegeben werden die Mittelwerte ± SEM der Reaktionszeiten in Millisekunden. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Die einzelnen Werte der Verpasserquote des Vigilanztests der Lern- und Abruf-Sitzung der einzelnen Gruppen sind in der Tabelle 9 zusammengefasst. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die Verpasserquote offen ($F = 0,165$; $p = 0,687$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,239$; $p = 0,628$) sowie Lernen/Abruf und Wortliste-/Vokale-Gruppe ($F = 2,329$; $p = 0,136$) ist keine Interaktion zu beobachten. Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe ist ebenfalls keine signifikante Interaktion festzustellen ($F = 0,508$; $p = 0,481$). Auch ist kein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 0,063$; $p = 0,803$) und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,804$; $p = 0,376$) sowie keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und den Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,038$; $p = 0,847$) zu beobachten.

Tabelle 9: Übersicht über die Verpasserquote des Vigilanztests nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Sitzung	2,50 ± 1,06	5,33 ± 1,94	3,21 ± 2,00	5,69 ± 2,97
Abruf-Sitzung	3,21 ± 1,28	4,75 ± 1,35	4,29 ± 2,00	3,91 ± 2,47

Angegeben werden die Mittelwerte ± SEM der Verpasser in Prozent. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

Die einzelnen Werte der Fehlerquote des Vigilanztests der Lern- und Abruf-Sitzung der einzelnen Gruppen sind in der Tabelle 10 (siehe Seite 30) zusammengefasst. Eine dreifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung legt keinen signifikanten Effekt des Faktors Lernen/Abruf auf die Fehlerquote offen ($F = 2,407$; $p = 0,130$). Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf und Schlaf-/Wachgruppe ($F = 0,028$; $p = 0,868$) sowie Lernen/Abruf und Wort-

liste-/Vokale-Gruppe ($F = 0,685$; $p = 0,414$) ist keine Interaktion zu beobachten. Zwischen den Faktoren Lernen/Abruf, Schlaf-/Wachgruppe und Wortliste-/Vokale-Gruppe ist ebenfalls keine signifikante Interaktion festzustellen ($F = 0,167$; $p = 0,685$). Auch ist kein signifikanter Haupteffekt der Schlaf-/Wachgruppen ($F = 2,142$; $p = 0,153$) und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 1,310$; $p = 0,261$) sowie keine Interaktion zwischen den Schlaf-/Wachgruppen und Wortliste-/Vokale-Gruppen ($F = 0,784$; $p = 0,382$) zu beobachten.

Tabelle 10: Übersicht über die Fehlerquote des Vigilanztests nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b).

	SWL	SVC	WWL	WVC
Lern-Sitzung	3,57 ± 0,57	3,50 ± 0,35	5,53 ± 1,61	3,89 ± 1,27
Abruf-Sitzung	3,21 ± 1,18	2,83 ± 0,26	5,36 ± 1,65	3,13 ± 0,97

Angegeben sind die Mittelwerte ± SEM der Fehler in Prozent. Die Aufteilung findet nach Lern- und Abruf-Sitzung sowie nach Gruppen statt. Abkürzungen: SWL = Schlaf-Wortliste-Gruppe, SVC = Schlaf-Vokale-Gruppe, WWL = Wach-Wortliste-Gruppe, WVC = Wach-Vokale-Gruppe.

4. Diskussion

Bisher wurde angenommen, dass die Langzeitgedächtnissysteme, d.h. das deklarative und prozedurale Gedächtnis, anatomisch getrennt sind und unabhängig voneinander operieren (Squire et al., 1993). Die Konzeption der unabhängigen Gedächtnissysteme wird jedoch zunehmend infrage gestellt. Im Rahmen der Gedächtnisbildung, insbesondere der Konsolidierung, kommt es vor allem im Wachzustand durch die sog. kompetitive Interferenz zu Interaktionen der Gedächtnissysteme (Albouy et al., 2013b; Brown und Robertson, 2007b; Rasch und Born, 2013). Die vorliegende Studie geht der Frage nach, inwieweit diese Interaktionen abhängig vom Schlaf sind und ob es im Schlaf ggf. zu einer Entkopplung kommt, sodass sich die Langzeitgedächtnissysteme im Schlaf nicht gegenseitig behindern.

Zur Testung dieses Fragenkomplexes hatten Probanden nach dem Training einer prozeduralen Aufgabe (SRTT) entweder eine deklarative Aufgabe (Wortliste lernen) oder eine Kontrollaufgabe (Vokale-zählen) auszuführen. Der ersten Hypothese lag folgende Annahme zu Grunde: Nach einer Wachphase wurde bei Probanden, die nach dem SRTT-Training eine Wortliste auswendig gelernt hatten, eine schlechtere Leistung erwartet als bei Probanden, die nach dem SRTT-Training Vokale gezählt hatten. Dies wäre Ausdruck einer Interaktion als kompetitiven Interferenz der deklarativen und prozeduralen Lernmaterialien im Wachzustand. Darüber hinaus wurde im Rahmen der zweiten Hypothese getestet, ob nach einer Schlafphase Probanden vergleichbare Leistungen aufwiesen, wenn sie entweder nach dem SRTT-Training eine Wortliste auswendig gelernt oder Vokale gezählt hatten. Dies wäre Ausdruck einer zumindest teilweisen Entkopplung der prozeduralen und deklarativen Gedächtnissysteme im Schlaf. Brown und Robertson konnten diese Erwartungen einst erfüllen: Das Lernen einer deklarativen Aufgabe nach der Ausführung von prozeduralem Lernmaterial führte auf der einen Seite zu einer kompetitiven Interferenz der Konsolidierung der prozeduralen Aufgabe im Wachzustand. Auf der anderen Seite war die kompetitive Interferenz nach einer Schlafphase nicht zu beobachten. Aufgrund vorangegangener Studien und ihrer eigenen Ergebnisse haben Brown und Robertson ein Interaktions- und Entkopplungsmodell entwickelt. Demzufolge ist das deklarative Gedächtnis vor allem vom medialen Temporallappen, insbesondere vom Hippocampus, und dem Neocortex abhängig. Das prozedurale Gedächtnis ist vor allem von den Basalganglien, insbesondere dem Striatum, und dem primären Motorcortex abhängig. Besonders im Wachzustand finden Interaktionen zwischen diesen Strukturen statt, wodurch sich die Gedächtnissysteme gegenseitig beeinflussen – z.B. behindern – können: Für indirekte Verbindungen wird der präfrontale

Cortex verantwortlich gemacht, direkte Verbindungen zwischen dem Mediale-Temporal-lappen und dem Striatum wären auch möglich. Alternativ wäre eine überlappende Nutzung der Strukturen, namentlich des medialen Temporallappens, möglich. Im Schlaf käme es nun zu der Entkopplung: Aufgrund neurochemischer und neurophysiologischer Veränderungen des Schlafes könnte eine Trennung der direkten oder indirekten Verbindungen ursächlich sein oder alternativ die im Schlaf entstehenden neuen Verbindungen, die die Langzeitgedächtnissysteme unabhängig voneinander neuroanatomische Strukturen nutzen könnten (Brown und Robertson, 2007b).

Die Ergebnisse von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b) konnten in der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Studie nicht reproduziert werden. Die Auswertung der Studie zeigt auf, dass die Probanden, die nach dem Training der SRTT eine Wortliste auswendig gelernt haben, im Vergleich zu den Probanden, die nach dem Training der SRTT Vokale gezählt haben, in der SRTT vergleichbare Leistungen sowohl während der Lern-Sitzung als auch während der Abruf-Sitzung erbrachten. Die SRTT wurde unter zwei verschiedenen Bedingungen statistisch ausgewertet; da die Ergebnisse ohne Ausschluss von Probanden und nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson vergleichbar sind, verstärkt dies die Ergebnisse der Studie. Damit konnte die erste Hypothese nicht bestätigt und kein Nachweis über eine Interaktion der prozeduralen und deklarativen Gedächtnissysteme im Wachzustand erbracht werden: Nach einer Wachphase wiesen die Probanden, die nach dem SRTT-Training eine Wortliste auswendig gelernt haben, eine mit den Probanden, die nach dem SRTT-Training Vokale gezählt haben, vergleichbare Leistung auf. Auch die zweite Hypothese konnte nicht bestätigt und somit kein Nachweis über eine Entkopplung der Langzeitgedächtnissysteme im Schlaf erbracht werden: Nach einer Schlafphase wiesen die Probanden, die nach dem SRTT-Training eine Wortliste auswendig gelernt haben, eine mit den Probanden, die nach dem SRTT-Training Vokale gezählt haben, vergleichbare Leistung auf.

Damit widersprechen die eigenen Ergebnisse nicht nur denen von Brown und Robertson (Brown und Robertson, 2007b), sondern auch der aktuellen Studienlage. Eine Arbeitsgruppe um Debarnot et al. beschäftigte sich mit der retroaktiven Interferenz deklarativer Gedächtnisinhalte auf prozedurale Konsolidierung im Schlaf- und Wachzustand. Als zentrale Aufgaben kamen als prozedurale Aufgabe das sog. „motor imagery“ und als deklarative Aufgabe das Auswendiglernen einer Wortliste zum Einsatz, die untereinander interagieren

sollten. Beim „motor imagery“ stellen sich die Probanden explizit die Ausführung einer motorischen Aufgabe vor, ohne diese tatsächlich physisch auszuführen. Die beiden Gruppen, die im Wachzustand die deklarative Aufgabe, die mit der prozeduralen Aufgabe interagieren sollte, ausgeführt und die keine prozedurale Aufgabe durchgeführt hatten, lieferten schlechtere Ergebnisse in der prozeduralen Aufgabe ab, als jene beiden Gruppen, die beim selben Versuchsablauf über Nacht schlafen mussten. Dieses Ergebnis erinnert an die eigenen Erwartungen, dass es einerseits zur kompetitiven Interaktion der Gedächtnissysteme im Wachzustand und andererseits zur Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf kommen könnte (Debarnot et al., 2012). An anderer Stelle beschäftigten sich Ertelt et al. mit der Rolle des Schlafes in der Offline-Konsolidierung von prozeduralen Fertigkeiten und bei der Interaktion von deklarativen mit prozeduralen Aufgaben. Der Studie wurde ein „dual task“-Paradigma zugrunde gelegt: Probanden hatten parallel zwei Aufgaben auszuführen und wurden darüber hinaus über die Intention der Aufgaben in die Irre geführt. Im Vordergrund stand als prozedurale Aufgabe eine implizite SRTT – dieselbe, die im Rahmen dieser Arbeit zugrundeliegenden Studie verwendet wurde –, die nicht als Hauptaufgabe deklariert wurde. Parallel war als deklarative Aufgabe eine Wortpaar-Assoziations-Aufgabe auszuführen, die gegenüber den Probanden als Hauptaufgabe deklariert wurde, und mit der prozeduralen Aufgabe interagieren sollte. Auch die Hauptergebnisse dieser Studie widersprechen den Eigenen: Zwei Gruppen, die dem „dual task“-Paradigma unterlagen und nicht schliefen, erbrachten schlechtere Leistungen als die Gruppe, die ebenfalls dem „dual task“-Paradigma unterlag und schlafen musste. Dies erfüllt die eigenen Erwartungen und spricht für eine Interaktion des prozeduralen und deklarativen Gedächtnisses im Wachzustand einerseits und für eine zumindest teilweise Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf andererseits (Ertelt et al., 2012). Eine Studie von Galea et al. befasste sich mit der Interaktion der Konsolidierung von deklarativen und prozeduralen Gedächtnisinhalten im Wachzustand. Als zentrales anatomisches Korrelat der Interaktion im Wachzustand sieht die Arbeitsgruppe den präfrontalen Cortex. Als zentrale Aufgabe wurde eine explizite SRTT verwendet. Zusätzlich wurde eine transkranielle Magnetstimulation genutzt. Bei dieser Studie wurde sich zunutze gemacht, dass eine explizite SRTT sowohl eine deklarative, die Kenntnis über die Sequenz, als auch eine prozedurale, d.h. motorische, Komponente hat – Erstere überwiegt. Durch die Magnetstimulation des präfrontalen Cortex soll die Konsolidierung der deklarativen Komponente inhibiert werden. Die Gruppen, bei denen die Konsolidierung der deklarativen Komponente unterbrochen wurde, wiesen eine größere Leistungssteigerung in der prozeduralen Komponente auf, als die Gruppe, bei der der Okzipitallappen

inhibiert wurde. Einerseits belegen diese Hauptergebnisse – entgegen der eigenen Ergebnisse –, dass es im Wachzustand zu einer Interaktion der Gedächtnissysteme kommt (Galea et al., 2010) und andererseits wird das Interaktions- und Entkopplungsmodell von Brown und Robertson unterstützt: Dem präfrontalen Cortex wird eine modulierende Rolle, beispielsweise durch indirekte Verbindungen zwischen medialem Temporallappen und dem Striatum, zugesprochen (Brown und Robertson, 2007b; Galea et al., 2010). Die Interaktionen der Gedächtnissysteme im Wachzustand durch die Organisation in größere, funktionelle Einheiten könnten im Schlaf durch ein Bewusstseinsverlust aufgebrochen werden (Massimini et al., 2005; Peigneux et al., 2006). Mit diesem Hintergrundgedanken haben Boly et al. die Theorie, dass es im NREM-Schlaf zur Fraktionierung der großen Netzwerke in kleinere Einheiten komme, getestet. Mithilfe von funktionellen MRT-Aufnahmen im Schlaf wurde diese Hypothese untersucht. Die Studie bekräftigt die Erwartung, dass es im Schlaf zumindest zu einer teilweisen Entkopplung der Gedächtnissysteme durch die Reduktion der Überschneidungen gemeinsam genutzter anatomischer Strukturen oder der Kappung von indirekten Verbindungen, wie beispielsweise dem präfrontalen Cortex, kommen könnte (Boly et al., 2012). Als ein elektrophysiologisches Substrat der Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf könnten die hippocampalen „sharp-wave/ripples“ verantwortlich gemacht werden. Bei Versuchen mit Rhesusaffen wurden zeitgleich zum Auftreten der „sharp-wave/ripples“ eine Aktivierung des Neocortex und eine Deaktivierung des Cerebellums sowie der Basalganglien beobachtet (Logothetis et al., 2012). Parallel zu „sharp-wave/ripples“ treten langsame Oszillationen auf, die im Neocortex entstehen und denen eine zentrale Rolle in der Konsolidierung zugesprochen wird (Brown et al., 2012; Logothetis et al., 2012). Das parallele Auftreten dieser beiden Entitäten ist besonders häufig im präfrontalen Cortex zu beobachten (Frankland und Bontempi, 2005). Auch wenn dies sehr spekulativ ist, könnten „sharp-wave/ripples“ also bei Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf unterstützend einwirken, indem sie indirekte Verbindungen, namentlich die Trennung des präfrontalen Cortex von den Basalganglien, zwischen den beiden Langzeitgedächtnissystemen im Schlaf kappen.

Verschiedene Erklärungsmodelle kämen dafür infrage, dass die Ergebnisse von Brown und Robertson – eine Interaktion der Gedächtnissysteme im Wachzustand und eine Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf – sich nicht reproduzieren ließen (Brown und Robertson, 2007b) und dass die eigenen Ergebnisse von der aktuellen Studienlage abweichen. Erstens wird kein einheitliches Bild durch die Kontrollvariablen abgegeben: Ein Einfluss

aufgrund fehlender Vergleichbarkeit der einzelnen Bedingungen auf die Ergebnisse der SRTT ist deshalb sehr wahrscheinlich. Zweitens wäre es zudem möglich, dass die Probanden zu gut gelernt haben. Im Unterschied zu Brown und Robertson musste die Wortliste, nachdem die vier Probanden der vorangegangene Pilotstudie alle 16 Worte abrufen konnten, auf 32 Worte ausgeweitet werden. Darüber hinaus konnte entgegen den Ergebnissen von Brown und Robertson keine Korrelation zwischen den Δ -Scores, der Differenz aus den Reaktionszeiten der SRTT von der Lern- und Abruf-Sitzung als Maß der prozeduralen Konsolidierung, und dem Wortlisten-Abruf beobachtet werden. Diese Korrelation wäre ein Anhalt für eine kompetitive Interaktion der Gedächtnissysteme; da in dieser Studie keine Korrelation zwischen den Δ -Scores der SRTT und dem Wortlisten-Abruf besteht, spräche dies gegen eine kompetitive Interaktion der Gedächtnissysteme im Wachzustand. Von der SRTT gibt es eine implizite und explizite Variante: Die explizite SRTT aktiviert auch den Hippocampus (Walker et al., 2005; Wilson et al., 2012) und die implizite Variante aktiviert überwiegend den primären Motorcortex und die Basalganglien (Albouy et al., 2013b; Galea et al., 2010; Hazeltine et al., 1997). Für die dieser Arbeit zugrunde liegende Studie war es besonders wichtig, dass die Probanden eine möglichst geringe Kenntnis von der Sequenz hatten, denn das Explizit-werden der Sequenz könnte die Ergebnisse verfälschen –, bei der Abfrage-Sitzung wurden die Probanden daraufhin befragt. Nach Anwendung der strengen Ausschlusskriterien von Brown und Robertson waren 22 Probanden in der Lage, eine relevante Kenntnis der SRTT-Sequenz zu erlangen; dies waren rund 27%. Bei Brown und Robertson wurden rund 17% (33 von 125 Probanden) (Brown und Robertson, 2007b) und bei Ertelt et al. wurden lediglich rund 12% (elf von 48 Probanden), wenn auch mithilfe einer anderen Methode zur Ermittlung der Kenntnis über die Sequenz, ausgeschlossen (Ertelt et al., 2012). Drittens wäre es möglich, dass das „rehearsal“-Phänomen sich sowohl auf die SRTT als auch das Wortlisten-Lernen ausgewirkt haben könnte. Hierbei übt bzw. wiederholt der Proband zwischen den Testzeitpunkten die Aufgaben. Dies ist zwar nicht mit Sicherheit auszuschließen, aber verhältnismäßig unwahrscheinlich, da die Probanden weder auf die Abfrage der Wortliste – in der Zwischenzeit von zehn Minuten wurden die Probanden angewiesen ein Buch oder eine Zeitung zu lesen – noch auf die Abfrage-Sitzung der SRTT nach zwölf Stunden hingewiesen wurden.

Entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse ist die Vergleichbarkeit der einzelnen Bedingungen. Individuelle Kriterien wie Schläfrigkeit, kognitive Leistungsfähigkeit, Wachheit und Aufmerksamkeit sowie Unterschiede in der Schlafarchitektur waren für die

Bewertung dieser Studie basal relevant. Zur Überprüfung dieser Kriterien wurden etablierte Methoden, die im Detail im Kapitel 2 („Material und Methoden“, Seiten 14 ff.) beschrieben wurden, ausgewählt. Bei einigen Kontrollvariablen waren unerwünschte Unterschiede zwischen den Gruppen und / oder Zeitpunkten zu beobachten. Die Schläfrigkeit der Probanden wurde mithilfe von subjektiven Angaben auf der SSS während der Lern- und Abfrage-Sitzung ausgewertet. Die Probanden waren bei der Abfrage-Sitzung generell schläfriger als bei der Lern-Sitzung und die Gruppen, die Vokale gezählt haben, waren generell schläfriger als die Gruppen, die Wortlisten auswendig gelernt haben. Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde mithilfe des RWT während der Lern- und Abfrage-Sitzung gemessen. Die Probanden, die nach dem Training der SRTT Vokale gezählt haben und tagsüber wach waren, waren bei der Abfrage-Sitzung kognitiv leistungsfähiger als bei der Lern-Sitzung. Die Wachheit und Aufmerksamkeit wurde mithilfe eines computergestützten Vigilanztests überprüft; in der Wachheit und Aufmerksamkeit wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen oder Zeitpunkten festgestellt. Um unerwünschte Einflüsse des Schlafes auf die Studienergebnisse auszuschließen, wurden die Schlafgruppen polysomnographisch überwacht. Signifikante Unterschiede zwischen den Schlafgruppen wurden weder in der Schlafarchitektur festgestellt, noch in der Schlafdauer beobachtet. Bei der SRTT wurden die sog. Verpasserquote – Reaktionszeiten > 500 ms – und die Fehlerquote – das Drücken der falschen Taste – erfasst. Diese Quoten waren mit den Ergebnissen von Brown und Robertson vergleichbar und wie erwartet sehr niedrig (Brown und Robertson, 2007b).

Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene sind häufig „auf der Suche nach der verlorenen Zeit“² und empfinden Schlaf teilweise als Verschwendung. Doch gerade diese Altersgruppen sind auf den Schlaf angewiesen. – Zwar unterstützen die eigenen Ergebnisse diese Annahme nicht, es wurde jedoch hinreichend dargestellt, dass Schlaf eine entscheidende Rolle in der Gedächtnisbildung spielen könnte. Einerseits könnte eine Interaktion im Wachzustand diese Gedächtnisbildung stören und andererseits eine Entkopplung im Schlaf diese Gedächtnisbildung fördern, da im Alltag von jungen Menschen prozedurales und deklaratives Lernen häufig parallel stattfindet.

Um der Frage nachzugehen, ob die kompetitive Interaktion im Wachzustand existiere und inwieweit diese vom Schlaf abhängig wäre, könnten zukünftige Studien mit potentiell besserer Methodik durchgeführt werden. Um dem Problem der unterschiedlichen Müdigkeit

² Titel eines Buches von Marcel Proust.

zum Lern- und Abfragezeitpunkt zu begegnen, könnte man in weiteren Studien z.B. bei den Probanden, die nachtsüber schlafen müssen, Daten zur Schlafqualität erheben und denselben Probanden mehr Zeit zwischen Aufwach- und Testzeitpunkt geben – die Probanden dieser Studie hatten mindestens eine halbe Stunde Zeit zwischen Aufwach- und Testzeitpunkt. Um die Probanden, die zwischen den beiden Sitzungen wach sein mussten, für zukünftige Studien besser überwachen zu können, könnte eine kontrollierte Wachphase im Schlaflabor sinnvoll sein. Im Rahmen dieser Studie wurden Probanden lediglich angewiesen, sich während der Wachphase am Tage keinen besonderen Belastungen, physischen wie psychischen, auszusetzen. Obwohl die Tätigkeiten der Probanden per Fragebogen erfasst wurden, ist nicht mit Sicherheit anzunehmen, dass die Probanden diese Vorgaben tatsächlich beachtet haben. Daher wäre eine Überwachung im Labor durchaus sinnvoll. Vor dem Hintergrund, dass möglicherweise die Probanden die Wortliste zu gut gelernt haben könnten, wäre es eventuell sinnvoller, nicht nur überwiegend auf Medizinstudenten und Studenten der Medizininformatik sowie naturwissenschaftlichen Fächer zurückzugreifen, sondern einen breiteren Schnitt der Bevölkerung einzubeziehen.

Zur Umgehung der delikaten Herausforderung der Dichotomie implizit / explizit beim SRTT-Lernen könnte bei ähnlichem Versuchsablauf eine prozedurale Aufgabe mit kürzerer Sequenz verwendet werden (z.B. eine „Finger-tapping“-Aufgabe). Je kürzer die Sequenz bei einer solchen Aufgabe ist, desto stärker steht der rein motorische und umso weniger der deklarative Aspekt im Vordergrund (Krakauer und Shadmehr, 2006). In der zuvor beschriebenen Studie von Debarnot et al. wurde z.B. unter expliziten Bedingungen das „motor imagery“ durch eine „Finger-tapping“-Aufgabe überprüft (Debarnot et al., 2012). Alternativ könnte auf das probabilistische-Sequenzlernen zurückgegriffen werden. Bei solch einer probabilistischen Sequenz ist beispielsweise jedes zweite Element zufällig, z.B. 1-z-2-z-3-z-4-z. Hierdurch sinkt die Wahrscheinlichkeit des Explizit-werdens der Sequenz (Nemeth et al., 2013; Song et al., 2007). Durch die Wahl der beschriebenen alternativen prozeduralen Aufgaben wäre in Kombination mit einer interferierenden deklarativen Aufgabe womöglich eine Interaktion im Wachzustand oder eine Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf mit größerer Wahrscheinlichkeit aufzudecken. Um den Vorgang der Entkopplung der Gedächtnissysteme weiter untersuchen zu können, wären Studien unter Zuhilfenahme der funktionellen MRT interessant. Bis dato wurden überwiegend Studien entweder ausschließlich mit prozeduralen (Albouy et al., 2008; Debas et al., 2010; Schendan et al., 2003), deklarativen (Van Dongen et al., 2011; Gais et al., 2007) oder gänzlich ohne voran-

gegangene Aufgaben (Boly et al., 2012) sowohl nach einer Wach- als auch Schlafphase durchgeführt. In einem Versuchsaufbau mit einem funktionellen MRT, bei dem eine deklarative Aufgabe, die nach einer prozeduralen Aufgabe ausgeführt würde, eingebunden würde, könnten eventuelle Überschneidungen, Entkopplungen oder völlig neue Verbindungen zwischen Hirnstrukturen, wie in dem Interaktions- und Entkopplungsmodell hypothetisiert, aufgedeckt werden. Interessant wäre auch, ob sich die Rolle der „sharp-wave/ripples“ bei Rhesusaffen (Logothetis et al., 2012) bei der Entkopplung der Langzeitgedächtnissysteme auch auf den Menschen übertragen ließe und ob eine Assoziierung dieses oder auch anderer elektrophysiologischer Korrelate des Schlafes mit der Entkopplung der Gedächtnissysteme zu beobachten wäre.

5. Zusammenfassung

Die Annahme, dass die Langzeitgedächtnissysteme – das deklarative und prozedurale Gedächtnis – anatomisch getrennt sind und unabhängig voneinander operieren, wird zunehmend infrage gestellt. Vor allem im Wachzustand kommt es während der Gedächtnisbildung zu Interaktionen. In der vorliegenden Arbeit wurde den Fragen nachgegangen, inwieweit diese Interaktionen vom Schlaf abhängig sein könnten und ob sich im Schlaf ggf. eine Entkopplung der Gedächtnissysteme ereigne, sodass es zu einer Reduktion der Interaktionen im Schlaf kommen könnte. Zur Klärung dieser Fragen wurden 60 Probanden in einer randomisierten, kontrollierten und einfachblinden Studie auf vier Gruppen verteilt. Davon mussten zwei Gruppen nachts im Schlaflabor schlafen, während die anderen zwei Gruppen tagsüber wach sein mussten. Alle vier Gruppen führten als prozedurale Aufgabe eine serial reaction-time task (SRTT) durch. Je eine Schlaf- und Wachgruppe mit jeweils 14 Teilnehmern musste nach dem Training der SRTT Wortlisten als deklaratives Lernmaterial, welches mit der prozeduralen Aufgabe interagieren sollte, auswendig lernen. Die anderen beiden Schlaf- und Wachgruppen mit jeweils 16 Teilnehmern mussten, als eine nicht mit dem prozeduralen Material interagierende Aufgabe, Vokale zählen. Bei der jeweiligen Lern-Sitzung, die für die Schlafgruppen um 20 Uhr und für die Wachgruppen um 8 Uhr stattfand, wurden sowohl die prozedurale als auch die deklarative oder die Kontrollaufgabe durchgeführt. Bei der Abruf-Sitzung, die für die Schlafgruppen nun um 8 Uhr und für die Wachgruppen um 20 Uhr angesetzt war, wurde nur die prozedurale Aufgabe ausgeführt. Die vier Gruppen zeigten in der prozeduralen Aufgabe vergleichbare Leistungen sowohl während der Lern- als auch während der Abruf-Sitzung. Allerdings waren die Probanden während der Abruf-Sitzung generell schläfriger als in der Lern-Sitzung; zudem waren die Probanden der Gruppen, die Vokale gezählt hatten, generell schläfriger als die Probanden derjenigen Gruppen, die Wortlisten auswendig gelernt hatten. Die Gruppe, die nach dem Training der SRTT Vokale zählen und tagsüber wach sein musste, war bei der Abruf-Sitzung am Abend kognitiv insgesamt leistungsfähiger als bei der vorangegangenen Lern-Sitzung am Morgen. Die Studie konnte entgegen eigener Erwartungen und aktueller Studienlage weder Anhaltspunkte für eine Interaktion in der Wachphase noch für eine Entkopplung der Gedächtnissysteme im Schlaf liefern. Ursächlich für diese Abweichung könnten Unterschiede in den Kontrollvariablen sein. Um möglichen Interaktionen im Wachzustand und der Rolle des Schlafes dazu nachzugehen, könnten andere prozedurale Aufgaben, wie Fingertapping und probabilistisches Sequenzlernen, oder bildgebenden Verfahren, wie der funktionellen MRT, in vergleichbarem Versuchsablauf in zukünftigen Studien eingebunden werden.

6. Quellenverzeichnis

1. Abel T, Havekes R, Saletin JM und Walker MP: Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Curr. Biol.* CB 23, R774–R788 (2013).
2. Ackermann K, Revell VL, Lao O, Rombouts EJ, Skene DJ und Kayser M: Diurnal-rhythms in blood cell populations and the effect of acute sleep deprivation in healthy young men. *Sleep* 35, 933–940 (2012).
3. Albert NB, Robertson EM, Mehta P und Miall RC: Resting state networks and memory consolidation. *Commun. Integr. Biol.* 2, 530–532 (2009).
4. Albouy G, Fogel S, Pottiez H, Nguyen VA, Ray L, Lungu O, Carrier J, Robertson E und Doyon J: Daytime sleep enhances consolidation of the spatial but not motoric representation of motor sequence memory. *PloS One* 8, e52805 (2013a).
5. Albouy G, King BR, Maquet P und Doyon J: Hippocampus and striatum: Dynamics and interaction during acquisition and sleep-related motor sequence memory consolidation. *Hippocampus* 23, 985–1004 (2013b).
6. Albouy G, Sterpenich V, Balteau E, Vandewalle G, Desseilles M, Dang-Vu T, Darsaud A, Ruby P, Luppi P-H, Degueldre C, Peigneux P, Luxen A und Maquet P: Both the hippocampus and striatum are involved in consolidation of motor sequence memory. *Neuron* 58, 261–272 (2008).
7. Albouy G, Sterpenich V, Vandewalle G, Darsaud A, Gais S, Rauchs G, Desseilles M, Boly M, Dang-Vu T, Balteau E, Degueldre C, Phillips C, Luxen A und Maquet P: Interaction between hippocampal and striatal systems predicts subsequent consolidation of motor sequence memory. *PloS One*, 8 e59490 (2013c).
8. Albouy G, Sterpenich V, Vandewalle G, Darsaud A, Gais S, Rauchs G, Desseilles M, Boly M, Dang-Vu T, Balteau E, Degueldre C, Phillips C, Luxen A und Maquet P: Neural correlates of performance variability during motor sequence acquisition. *NeuroImage* 60, 324–331 (2012).
9. Arendt J: Biological rhythms during residence in polar regions. *Chronobiol. Int.* 29, 379–394 (2012).
10. Aschenbrenner A, Tucha O und Lange K: Regensburger Wortflüssigkeitstest (2000). http://psytest.psy.med.uni-muenchen.de/dokuwiki/doku.php?id=tests:regensburger_wortfluessigkeitstest (Tag des Zugriffs: 07.10.2013).

11. Aserinsky E und Kleitman N: Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science* 118, 273–274 (1953).
12. Avanzini G, Panzica F und de Curtis M: The role of the thalamus in vigilance and epileptogenic mechanisms. *Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol.* 111 Suppl 2, S19–S26 (2000).
13. Benloucif S, Guico MJ, Reid KJ, Wolfe LF, L'hermite-Balériaux M und Zee PC: Stability of melatonin and temperature as circadian phase markers and their relation to sleep times in humans. *J. Biol. Rhythms* 20, 178–188 (2005).
14. Boly M, Perlberg V, Marrelec G, Schabus M, Laureys S, Doyon J, Péligrini-Issac M, Maquet P und Benali H: Hierarchical clustering of brain activity during human nonrapid eye movement sleep. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 5856–5861 (2012).
15. Born J: Slow-wave sleep and the consolidation of long-term memory. *World J. Biol. Psychiatry Off. J. World Fed. Soc. Biol. Psychiatry* 11 Suppl 1, 16–21 (2010).
16. Born J, Rasch B und Gais S: Sleep to Remember. *The Neuroscientist* 12, 410–424 (2006).
17. Born J und Wilhelm I: System consolidation of memory during sleep. *Psychol. Res.* 76, 192–203 (2012).
18. Brown LK: Can sleep deprivation studies explain why human adults sleep? *Curr. Opin. Pulm. Med.* 18, 541–545 (2012).
19. Brown RE, Basheer R, McKenna JT, Strecker RE und McCarley RW: Control of sleep and wakefulness. *Physiol. Rev.* 92, 1087–1187 (2012).
20. Brown RM und Robertson EM: Inducing motor skill improvements with a declarative task. *Nat. Neurosci.* 10, 148–149 (2007a).
21. Brown RM und Robertson EM: Off-line processing: reciprocal interactions between declarative and procedural memories. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 27, 10468–10475 (2007b).
22. Carskadon M und Dement W: Monitoring and staging human sleep. In Kryger MH, Roth T und Dement W (Hrsg.): *Principles and practice of sleep medicine*. 5. Aufl., 16–26, Elsevier Saunders (2011).

23. Van Cauter E, Leproult R und Plat L: Age-related changes in slow wave sleep and REM sleep and relationship with growth hormone and cortisol levels in healthy men. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* 284, 861–868 (2000).
24. Cohen DA und Robertson EM: Preventing interference between different memory tasks. *Nat. Neurosci.* 14, 953–955 (2011).
25. Conte F und Ficca G: Caveats on psychological models of sleep and memory: a compass in an overgrown scenario. *Sleep Med. Rev.* 17, 105–121 (2013).
26. Coulon P, Budde T und Pape H-C: The sleep relay--the role of the thalamus in central and decentral sleep regulation. *Pflüg. Arch. Eur. J. Physiol.* 463, 53–71 (2012).
27. Debarnot U, Castellani E, Guillot A, Giannotti V, Dimarco M und Sebastiani L: Declarative interference affects off-line processing of motor imagery learning during both sleep and wakefulness. *Neurobiol. Learn. Mem.* 98, 361–367 (2012).
28. Debas K, Carrier J, Orban P, Barakat M, Lungu O, Vandewalle G, Hadj Tahar A, Bellec P, Karni A, Ungerleider LG, Benali H und Doyon J: Brain plasticity related to the consolidation of motor sequence learning and motor adaptation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107, 17839–17844 (2010).
29. Dement W und Kleitman N: Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 9, 673–690 (1957).
30. Diekelmann S und Born J: The memory function of sleep. *Nat. Rev. Neurosci.* 11, 114–126 (2010).
31. Diekelmann S, Wilhelm I und Born J: The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Med. Rev.* 13, 309–321 (2009).
32. Van Dongen EV, Takashima A, Barth M und Fernández G: Functional connectivity during light sleep is correlated with memory performance for face-location associations. *NeuroImage* 57, 262–270 (2011).
33. Doyon J, Bellec P, Amsel R, Penhune V, Monchi O, Carrier J, Lehéricy S und Benali H: Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behav. Brain Res.* 199, 61–75 (2009).
34. Dudai Y: The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annu. Rev. Psychol.* 55, 51–86 (2004).

35. Eichenbaum H: Hippocampus: cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory. *Neuron* 44, 109–120 (2004).
36. Ellenbogen JM, Payne JD und Stickgold R: The role of sleep in declarative memory consolidation: passive, permissive, active or none? *Curr. Opin. Neurobiol.* 16, 716–722 (2006).
37. Ertelt D, Witt K, Reetz K, Frank W, Junghanns K, Backhaus J, Tadic V, Pellicano A, Born J und Binkofski F: Skill memory escaping from distraction by sleep-evidence from dual-task performance. *PloS One* 7, e50983 (2012).
38. Euston DR, Gruber AJ und McNaughton BL: The role of medial prefrontal cortex in memory and decision making. *Neuron* 76, 1057–1070 (2012).
39. Ferrie JE, Shipley MJ, Cappuccio FP, Brunner E, Miller MA, Kumari M und Marmot MG: A prospective study of change in sleep duration: associations with mortality in the Whitehall II cohort. *Sleep* 30, 1659–1666 (2007).
40. Fogel SM, Smith CT und Cote KA: Dissociable learning-dependent changes in REM and non-REM sleep in declarative and procedural memory systems. *Behav. Brain Res.* 180, 48–61 (2007).
41. Frankland PW und Bontempi B: The organization of recent and remote memories. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 119–130 (2005).
42. Frank MG: The mystery of sleep function: current perspectives and future directions. *Rev. Neurosci.* 17, 375–392 (2006).
43. Gais S, Albouy G, Boly M, Dang-Vu TT, Darsaud A, Desseilles M, Rauchs G, Schabus M, Sterpenich V, Vandewalle G, Maquet P und Peigneux P: Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 18778–18783 (2007).
44. Gais S und Born J: Declarative memory consolidation: mechanisms acting during human sleep. *Learn. Mem. Cold Spring Harb. N* 11, 679–685 (2004).
45. Gais S, Mölle M, Helms K und Born J: Learning-dependent increases in sleep spindle density. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 22, 6830–6834 (2002).
46. Gais S, Plihal W, Wagner U und Born J: Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat. Neurosci.* 3, 1335–1339 (2000).

47. Galea JM, Albert NB, Ditye T und Miall RC: Disruption of the dorsolateral pre-frontal cortex facilitates the consolidation of procedural skills. *J. Cogn. Neurosci.* 22, 1158–1164 (2010).
48. Gallicchio L und Kalesan B: Sleep duration and mortality: a systematic review and meta-analysis. *J. Sleep Res.* 18, 148–158 (2009).
49. Giuditta A, Ambrosini MV, Montagnese P, Mandile P, Cotugno M, Grassi Zucconi G und Vescia S: The sequential hypothesis of the function of sleep. *Behav. Brain Res.* 69, 157–166 (1995).
50. Griessenberger H, Heib DPJ, Lechinger J, Luketina N, Petzka M, Moeckel T, Hoedlmoser K und Schabus M: Susceptibility to declarative memory interference is pronounced in primary insomnia. *PloS One* 8, e57394 (2013).
51. Grigg-Damberger MM: The AASM Scoring Manual four years later. *J. Clin. Sleep Med. JCSM Off. Publ. Am. Acad. Sleep Med.* 8, 323–332 (2012).
52. Guidolin M und Gradisar M: Is shortened sleep duration a risk factor for overweight and obesity during adolescence? A review of the empirical literature. *Sleep Med.* 13, 779–786 (2012).
53. Hazeltine E, Grafton ST und Ivry R: Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding. A PET study. *Brain J. Neurol.* 120 (Pt 1), 123–140 (1997).
54. Van der Helm E, Gujar N, Nishida M und Walker MP: Sleep-dependent facilitation of episodic memory details. *PloS One* 6, e27421 (2011).
55. Hobson JA und Pace-Schott EF: The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat. Rev. Neurosci.* 3, 679–693 (2002).
56. Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, Phillips R und Dement WC: Quantification of sleepiness: a new approach. *Psychophysiology* 10, 431–436 (1973).
57. Holz J, Piosczyk H, Landmann N, Feige B, Spiegelhalder K, Riemann D, Nissen C und Voderholzer U: The timing of learning before night-time sleep differentially affects declarative and procedural long-term memory consolidation in adolescents. *PloS One* 7, e40963 (2012).
58. Horne JA und McGrath MJ: The consolidation hypothesis for REM sleep function: stress and other confounding factors--a review. *Biol. Psychol.* 18, 165–184 (1984).

59. Hotermans C, Peigneux P, Maertens de Noordhout A, Moonen G und Maquet P: Early boost and slow consolidation in motor skill learning. *Learn. Mem.* Cold Spring Harb. N 13, 580–583 (2006).
60. Iber C, Ancoli-Israel S, Chesson A und Quan S: *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications*. 1. Aufl., American Academy of Sleep Medicine, Westchester, Illinois (2007).
61. Karni A, Meyer G, Jezard P, Adams MM, Turner R und Ungerleider LG: Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature* 377, 155–158 (1995).
62. Karni A, Meyer G, Rey-Hipolito C, Jezard P, Adams MM, Turner R und Ungerleider LG: The acquisition of skilled motor performance: Fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 95, 861–868 (1998).
63. Klerman EB, Gershengorn HB, Duffy JF und Kronauer RE: Comparisons of the variability of three markers of the human circadian pacemaker. *J. Biol. Rhythms* 17, 181–193 (2002).
64. Knutson KL: Sleep duration and cardiometabolic risk: a review of the epidemiologic evidence. *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* 24, 731–743 (2010).
65. Korman M, Doyon J, Doljansky J, Carrier J, Dagan Y und Karni A: Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nat. Neurosci.* 10, 1206–1213 (2007).
66. Krakauer JW und Shadmehr R: Consolidation of motor memory. *Trends Neurosci.* 29, 58–64 (2006).
67. Kreitzer AC und Malenka RC: Striatal plasticity and basal ganglia circuit function. *Neuron* 60, 543–554 (2008).
68. Lewis PA und Durrant SJ: Overlapping memory replay during sleep builds cognitive schemata. *Trends Cogn. Sci.* 15, 343–351 (2011).
69. Logothetis NK, Eschenko O, Murayama Y, Augath M, Steudel T, Evrard HC, Besserve M und Oeltermann A: Hippocampal-cortical interaction during periods of subcortical silence. *Nature* 491, 547–553 (2012).
70. Marshall L und Born J: The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation. *Trends Cogn. Sci.* 11, 442–450 (2007).

71. Massimini M, Ferrarelli F, Huber R, Esser SK, Singh H und Tononi G: Breakdown of cortical effective connectivity during sleep. *Science* 309, 2228–2232 (2005).
72. Max D: William Dement in: *Secrets of Sleep - National Geographic Magazine*: <http://ngm.nationalgeographic.com/2010/05/sleep/max-text> (Tag des Zugriffs: 07.10.2013).
73. Morselli LL, Guyon A und Spiegel K: Sleep and metabolic function. *Pflüg. Arch. Eur. J. Physiol.* 463, 139–160 (2012).
74. Moscovitch M, Rosenbaum RS, Gilboa A, Addis DR, Westmacott R, Grady C, McAndrews MP, Levine B, Black S, Winocur G und Nadel L: Functional neuroanatomy of remote episodic, semantic and spatial memory: a unified account based on multiple trace theory. *J. Anat.* 207, 35–66 (2005).
75. Nemeth D, Janacsek K und Fiser J: Age-dependent and coordinated shift in performance between implicit and explicit skill learning. *Front. Comput. Neurosci.* 7, 147 (2013).
76. Novelli L, Ferri R und Bruni O: Sleep classification according to AASM and Rechtschaffen and Kales: effects on sleep scoring parameters of children and adolescents. *J. Sleep Res.* 19, 238–247 (2010).
77. Peigneux P, Laureys S, Delbeuck X und Maquet P: Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport* 12, A111–A124 (2001).
78. Peigneux P, Orban P, Baiteau E, Degueldre C, Luxen A, Laureys S und Maquet P: Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness. *PLoS Biol.* 4, e100 (2006).
79. Plihal W und Born J: Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J. Cogn. Neurosci.* 9, 534–547 (1997).
80. Pschyrembel W und Dornblüth O: *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch*. 260. Aufl., 1631, de Gruyter, Berlin (2004).
81. Rasch B und Born J: About sleep's role in memory. *Physiol. Rev.* 93, 681–766 (2013).
82. Rauchs G, Desgranges B, Foret J und Eustache F: The relationships between memory systems and sleep stages. *J. Sleep Res.* 14, 123–140 (2005).

83. Rechtschaffen A und Kales A (Hrsg.): A Manual of Standardized Terminology Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Brain Information Service / Brain Research Institute, University of California, Los Angeles (1968).
84. Reis ES, Lange T, Köhl G, Herrmann A, Tschulakow AV, Naujoks J, Born J und Köhl J: Sleep and circadian rhythm regulate circulating complement factors and immunoregulatory properties of C5a. *Brain. Behav. Immun.* 25, 1416–1426 (2011).
85. Robertson EM und Cohen DA: Understanding consolidation through the architecture of memories. *Neurosci. Rev. J. Bringing Neurobiol. Neurol. Psychiatry* 12, 261–271 (2006).
86. Robertson EM, Pascual-Leone A und Miall RC: Current concepts in procedural consolidation. *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 576–582 (2004).
87. Ruehland WR, Rochford PD, O’Donoghue FJ, Pierce RJ, Singh P und Thornton AT: The new AASM criteria for scoring hypopneas: impact on the apnea hypopnea index. *Sleep* 32, 150–157 (2009).
88. Schendan HE, Searl MM, Melrose RJ und Stern CE: An fMRI study of the role of the medial temporal lobe in implicit and explicit sequence learning. *Neuron* 37, 1013–1025 (2003).
89. Sejnowski TJ und Destexhe A: Why do we sleep? *Brain Res.* 886 208–223 (2000).
90. Siegel JM: Clues to the functions of mammalian sleep. *Nature* 437, 1264–1271 (2005).
91. Smith C: Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Med. Rev.* 5, 491–506 (2001).
92. Song S, Howard JH und Howard DV: Sleep does not benefit probabilistic motor sequence learning. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 27, 12475–12483 (2007).
93. Squire LR, Knowlton B und Musen G: The structure and organization of memory. *Annu. Rev. Psychol.* 44, 453–495 (1993).
94. Squire LR und Zola-Morgan J: The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annu. Rev. Neurosci.* 34, 259–288 (2011).
95. Squire LR und Zola SM: Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 93, 13515–13522 (1996).

96. Steptoe A, Peacey V und Wardle J: Sleep duration and health in young adults. *Arch. Intern. Med.* 166, 1689–1692 (2006).
97. Stickgold R: Sleep-dependent memory consolidation. *Nature* 437 1272–1278 (2005).
98. Stickgold R: Sleep: off-line memory reprocessing. *Trends Cogn. Sci.* 2, 484–492 (1998).
99. Stickgold R und Walker MP: Sleep-dependent memory consolidation and reconsolidation. *Sleep Med.* 8, 331–343 (2007).
100. Sutherland GR und McNaughton B: Memory trace reactivation in hippocampal and neocortical neuronal ensembles. *Curr. Opin. Neurobiol.* 10, 180–186 (2000).
101. Takashima A, Petersson KM, Rutters F, Tendolkar I, Jensen O, Zwarts MJ, McNaughton BL und Fernández G: Declarative memory consolidation in humans: a prospective functional magnetic resonance imaging study. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103, 756–761 (2006).
102. Tulving E: Organization of memory: Quo vadis? In: Gazzaniga MS (Hrsg.): *The Cognitive Neurosciences*. 1. Aufl., 839–847, MIT Press, Cambridge, MA (1995).
103. Tulving E und Schacter DL: Priming and human memory systems. *Science* 247, 301–306 (1990).
104. Vidoni ED und Boyd LA: Achieving enlightenment: what do we know about the implicit learning system and its interaction with explicit knowledge? *J. Neurol. Phys. Ther. JNPT* 31, 145–154 (2007).
105. Wagner U und Born J: Memory consolidation during sleep: interactive effects of sleep stages and HPA regulation. *Stress Amst. Neth.* 11, 28–41 (2008).
106. Walker MP: A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behav. Brain Sci.* 28, 51–64; discussion 64–104 (2005).
107. Walker MP: Sleep, memory and emotion. *Prog. Brain Res.* 185, 49–68 (2010).
108. Walker MP: The role of slow wave sleep in memory processing. *J. Clin. Sleep Med. JCSM Off. Publ. Am. Acad. Sleep Med.* 5, S20–S26 (2009).
109. Walker MP und Stickgold R: Sleep, memory, and plasticity. *Annu. Rev. Psychol.* 57, 139–166 (2006).
110. Walker MP, Stickgold R, Alsop D, Gaab N und Schlaug G: Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. *Neuroscience* 133, 911–917 (2005).

111. Wilhelm I, Diekelmann S, Molzow I, Ayoub A, Mölle M und Born J: Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* 31, 1563–1569 (2011).
112. Wilson JK, Baran B, Pace-Schott EF, Ivry RB und Spencer RMC: Sleep modulates word-pair learning but not motor sequence learning in healthy older adults. *Neurobiol. Aging* 33, 991–1000 (2012).
113. Witt K, Margraf N, Bieber C, Born J und Deuschl G: Sleep consolidates the effector-independent representation of a motor skill. *Neuroscience* 171, 227–234 (2010).
114. Zager A, Andersen ML, Ruiz FS, Antunes IB und Tufik S: Effects of acute and chronic sleep loss on immune modulation of rats. *Am. J. Physiol. - Regul. Integr. Comp. Physiol.* 293, R504–R509 (2007).
115. Zee PC, Attarian H und Videnovic A: Circadian rhythm abnormalities. *Contin. Minneap. Minn* 19, 132–147 (2013).

Statistik zu der Aktualität der verwendeten Literaturquellen:

43 Quellen aus den Jahren 2010-2014

40 Quellen aus den Jahren 2005-2009

17 Quellen aus den Jahren 2000-2004

15 Quellen aus den Jahren 1999 und älter

7. Anhang

7.1 Abfrage Wortliste

Proband:

Datum, Uhrzeit:

Bedingung:

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6 (nach 10 min)
Lastwagen						
Spinat						
Giraffe						
Bücherregal						
Zwiebel						
Motorrad						
Schrank						
Zebra						
Bahn						
Lampe						
Sellerie						
Kuh						
Tisch						
Boot						
Eichhörnchen						
Weißkraut						
Fahrrad						
Tomate						
Fisch						
Teppich						
Rosenkohl						
Transporter						
Kommode						
Hund						
Kanu						
Sessel						
Karotte						
Pferd						
Sitzbank						
Flugzeug						
Krokodil						
Salat						
Summe						

7.2 Probanden Selbstauskunft und rechtlicher Hinweis

Studienbezeichnung: Entkopplung
 Doktorand/-in Patrick Magiera Tel.: _____
 Probandenhonorar _____
 Versuchsdatum (letzter Termin): _____

Probandeninformation (Bitte in Druckbuchstaben ausfüllen)

Name, Vorname _____ Geburtsdatum: _____
 Straße _____
 PLZ, Ort _____
 Tel.: _____
 Kontonr.: _____ BLZ: _____

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

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

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

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

1. Name, Vorname
2. Geburtsdatum
3. Adresse
4. Kontaktmöglichkeiten

5. Studienbezogene Messungsdaten

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

Nein, ich möchte nicht an anderen Studien teilnehmen.

Lübeck, den _____ Unterschrift: _____

7.3 Fragebogen zu Probandendaten

Pb-Code:

Datum:

Bedingung: Schlaf Wach

Eingewöhnungsnacht: Datum _____ bei früherem Experiment

Alter:

Geschlecht: w m

Brillenträger: ja nein

Nichtraucher: ja nein

Größe:

Gewicht:

Beruf/Studienfach:

Gesundheit heute?

Medikamente/Drogen heute?

Nachtarbeit in letzten 6 Wochen?

Wann zum letzten Mal Kaffee oder Cola getrunken?

Heute besonderen Stress gehabt?

Zu welcher Uhrzeit normalerweise abends zum Schlafen ins Bett?

Wieviel Stunden Schlaf normalerweise pro Nacht?

Üblicherweise auch Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?

Zu welcher Uhrzeit letzte Nacht zum Schlafen ins Bett?

Wann heute aufgestanden?

Wieviel Stunden Schlaf letzte Nacht?

Heute Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?

Vorherige Schlafexperimente mitgemacht? Wenn ja, wann, welche, bei wem?

Besonderheiten:

7.4 Stanford-Schläfrigkeitsskala

Probanden-Code:

Uhrzeit:

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

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

7.5 Regensburger Wortflüssigkeitstest

RWT

Untertest:

M-Wörter

P-Wörter

Probanden-Code:

Datum:

Uhrzeit:

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