

Der Schlaf-Effekt im Tagschlafparadigma: Überprüfung der Interferenzhypothese

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Melanie Schichl

geboren in Zossen

Düsseldorf, April 2011

Aus dem Institut für Experimentelle Psychologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Gedruckt mit der Genehmigung der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Reinhard Pietrowsky

Koreferent: Prof. Dr. Tobias Kalenscher

Tag der mündlichen Prüfung: 09.06.2011

Danksagung

Für meine Doktorarbeit schulde ich sehr vielen Menschen einen herzlichen Dank. Ein großer Dank geht an meinen Doktorvater Professor Reinhard Pietrowsky, der mir sehr viel Geduld entgegenbrachte und mir stets wertvolle Ratschläge gab. Dank schulde ich auch meinem Zweitgutachter Professor Kalenscher für die zügige Erstellung des Zweitgutachtens. Des Weiteren möchte ich meinen Kollegen in der Abteilung für Klinische Psychologie danken, die mit ihrem Fachwissen und ihrer konstruktiven Kritik zum Gelingen der Arbeit beitrugen und zudem mit so manchem Kaffee und Schokoriegel meine Promotionszeit zu einer sehr schönen Zeit machten.

Zudem möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, ohne die das Studium und meine Doktorarbeit niemals möglich geworden wären.

Ein großer Dank geht an meinen Mann Peter, der mich stets bestärkt hat, wenn ich an mir gezweifelt habe. Er hat mir die ganze Zeit den Rücken frei gehalten und mir die Kraft gegeben, die Arbeit zu Ende zu führen. Ihm möchte ich diese Arbeit widmen.

"You must sleep sometime between lunch and dinner, and no halfway measures. Take off your clothes and get into bed.

That's what I always do. Don't think you will be doing less work because you sleep during the day. That's a foolish notion held by people who have no imagination. You will be able to accomplish more. You get two days in one-well, at least one and a half, I'm sure."

Winston Churchill (1874 – 1965)

Inhalt

Zusammenfassung	6
1. Einleitung	8
1.1 Der Schlaf	9
1.2 Das Gedächtnis	10
1.3 Zum Zusammenhang zwischen Schlaf und Gedächtnis	12
1.4 Das Tagschlafparadigma	16
1.5 Hypothesen zur Erklärung des Schlaf-Effekts	20
1.6 Problemstellung der vorliegenden Arbeit	27
1.7 Experiment 1: Die gedächtniskonsolidierende Funktion von Schlaf und Entspannungshypnose	29
1.8. Experiment 2: Vergleich der deklarativen Gedächtnisleistung einer Tagschlafgruppe sowie einer aktiven und passiven Wachgruppe	34
1.9 Experiment 3: Der Einfluss sofortigen und verzögerten Tagschlafs auf die deklarative Gedächtnisleistung	39
2. Diskussion	43
3. Ausblick	48
4. Zusammenfassende Thesen	50
5. Quellenverzeichnis	53
6. Einzelarbeiten	64

Zusammenfassung

In der modernen Schlafforschung konnte sich bisher keine einheitliche Theorie bezüglich der Funktion des Schlafes durchsetzen. In den letzten Jahrzehnten wurde zunehmend diskutiert, ob eine der Funktionen, die Schlaf für den menschlichen Organismus erfüllt, die Optimierung der Gedächtniskonsolidierung ist. Die Rolle des Schlafes für diesen sogenannten Schlaf-Gedächtnis-Effekt kann dabei aktiv oder passiv sein. In den Experimenten der vorliegenden Arbeit wurde der passive Ansatz der Interferenzhypothese überprüft. Hierzu wurden in zwei Experimenten die Gedächtnisleistungen von Probanden untersucht, die einer Wach-Kontrollbedingung, einer Tagschlafbedingung oder einer weiteren interferenzarmen Bedingung (Entspannungshypnose in Experiment 1 bzw. passives Wachliegen im Bett in Experiment 2) zugeordnet wurden. In einem dritten Experiment wurde überprüft, ob der Schlaf-Gedächtnis-Effekt dadurch beeinflusst wird, ob der Tagschlaf unmittelbar oder verzögert auf das Lernen folgt. Die Ergebnisse zeigen, dass (i) Tagschlaf ohne REM-Schlafanteil keinen Einfluss auf die Konsolidierung prozeduraler Lerninhalte hat (Experiment 1), (ii) Tagschlaf ebenso wie Entspannungshypnose die deklarative Gedächtniskonsolidierung positiv beeinflussen (Experiment 1), (iii) sich interferenzarme Zustände wie Tagschlaf oder passives Wachliegen im Bett nicht immer förderlich auf die Konsolidierung deklarativen Lernmaterials auswirken (Experiment 2), und (iv) der Zeitpunkt des Tagschlafes nach dem Lernen den Schlaf-Gedächtnis-Effekt beeinflusst, da dieser nur gefunden wird, wenn der Schlaf unmittelbar im Anschluss an das Lernen stattfindet (Experiment 3). Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund der Interferenzhypothese diskutiert.

Abstract

Till today there is still no consent regarding the functions of sleep. Starting in the past decades there is a growing interest in the possible function of sleep for memory consolidation. The purported role of sleep for this so-called sleep-memory-effect could be active or passive in nature. In the present paper the passive approach of the interference hypothesis was tested. Therefore the memory performance of subjects assigned to either a wake control-group, a daytime nap-group or one of two different conditions with little interference (relaxation hypnosis in the first experiment; lying awake in bed in the second experiment) was examined. A third experiment investigated, whether the sleep-memory-effect is affected by the timing of the daytime-nap (nap either taken immediately or delayed after the learning session). The results show, that (i) a daytime nap containing no REM-sleep does not influence procedural memory consolidation (experiment 1), (ii) napping as well as relaxation hypnosis are beneficial for declarative memory consolidation (experiment 1), (iii) conditions with little interference like a short daytime nap or lying passively awake do not necessarily benefit declarative consolidation (experiment 2), (iv) the timing of the nap after learning influences the sleep-memory-effect, because it was only found after a nap taken immediately after the learning session (experiment 3). The results are discussed against the background of the interference hypothesis.

1. Einleitung

Der Schlaf fasziniert und beschäftigt die Menschheit schon seit Jahrhunderten. Dies erscheint wenig überraschend vor dem Hintergrund, dass der Mensch fast ein Drittel seines Lebens schlafend verbringt. In dieser Zeit ist er weder produktiv, sammelt Nahrung, pflanzt sich fort oder umsorgt den Nachwuchs, noch trägt er anders zum Erhalt der Spezies bei. Zudem ist er, aufgrund der für diesen Zustand charakteristischen Bewusstseinsverminderung, sogar in besonderem Maße Gefahren ausgesetzt. Aufgrund dieser immens erscheinenden Kosten scheint es nahe liegend, dass Schlaf eine oder mehrere fundamentale Funktionen für den Organismus erfüllt. Welche Funktionen dies sind, wird seit Jahrzehnten von Forschern diskutiert. Während zum heutigen Zeitpunkt die physiologischen Grundlagen und Mechanismen des Schlafes umfassend und detailliert beleuchtet und beschrieben wurden (Hobson & Pace-Schott, 2002; Pace-Schott & Hobson, 2002; Saper, Scammell & Lu, 2005), hat sich in der modernen Schlafforschung noch keine Theorie zur Schlaffunktion durchgesetzt (Siegel, 2009). Bis dato werden eine Vielzahl an Theorien diskutiert (Rechtschaffen, 1998). Diese reichen von neuronaler Detoxifikation (Inoué, Honda & Komoda, 1995) über die Regulierung des Energiehaushaltes und der Körpertemperatur (Maquet, 1995; Siegel, 2005; Staedt & Stoppe, 2001) bis hin zur Herstellung der emotionalen Balance (Cai, 1995). Eine der Theorien, die in den letzten Jahrzehnten zunehmend in den Fokus der Forschung gelangt ist, ist die der gedächtniskonsolidierenden Funktion des Schlafes. Die vorliegende Arbeit setzt sich empirisch mit diesem Aspekt des Schlafes auseinander und versucht, die zugrunde liegenden Mechanismen für die proklamierte Funktion des Schlafes für Gedächtnisprozesse näher zu beleuchten.

1.1 Der Schlaf

Schlaf wird definiert als aktiv regulierter, schnell reversibler Zustand, der gekennzeichnet ist durch eine Reduktion von Reaktivität, motorischer Aktivität und Stoffwechselrate (Siegel, 2009). Er wird in zwei verschiedene Schlaftypen unterteilt, Non-REM-Schlaf und REM-Schlaf (REM: Rapid Eye Movement), wobei sich der Non-REM-Schlaf wiederum in vier Phasen S1, S2, S3 und S4 (nach alter Einteilung entsprechend Rechtschaffen & Kales, 1968) bzw. drei Phasen N1, N2, N3 untergliedert (nach neuer Einteilung der AASM: Iber, Ancoli-Israel, Chesson & Quan, 2007). Im Verlauf des Nachtschlafs zeigt sich beim Menschen eine regelhafte Abfolge dieser verschiedenen Schlafphasen, beginnend mit dem leichten Non-REM-Schlafstadium N1, wobei der Schlafende nach einigen Minuten in die tieferen Stadien N2 und N3 fällt, um anschließend das Stadium REM zu durchlaufen. Dieser Zyklus des Wechsels zwischen den Non-REM- und REM-Schlafstadien dauert ungefähr 90 Minuten und wiederholt sich im Lauf der Nacht etwa fünf Mal. Während in der ersten Hälfte der Nacht die tiefen Schlafphasen (auch bezeichnet als Slow-Wave Sleep SWS) dominieren, überwiegen in der zweiten Nachthälfte der REM-Schlaf und leichtere Schlafphasen.

Jedes Schlafstadium ist gekennzeichnet durch ein spezifisches Muster hirnelektrischer Aktivität, wobei im Non-REM-Schlaf ein synchronisiertes EEG-Muster mit Aktivität im Bereich von 7 - 0,5 Hz vorherrscht. Es finden sich EEG-Graphoelemente wie Schlafspindeln und K-Komplexe (typischerweise im N2) sowie Vertexwellen (v.a. im N1). Während im Non-REM-Schlaf eine hochamplitudige niederfrequente EEG-Aktivität dominiert, zeigt sich während des REM-Schlafstadiums eine EEG-Aktivität ähnlich dem Wachzustand, d.h. niedrigamplitudig gemischtfrequent mit vereinzelten Sägezahnwellen, sowie eine begleitende

charakteristische Muskelatonie und die namengebenden episodischen schnellen Augenbewegungen (Carskardon & Dement, 1989; Siegel, 2004).

An der aktiven Regulierung von Schlafen und Wachen sind diverse miteinander dynamisch interagierende Systeme des Gehirns beteiligt, unter anderem Hirnareale wie das Aufsteigende Retikuläre Aktivierungssystem (ARAS), diverse Hypothalamusregionen (laterale Anteile, Nucleus suprachiasmaticus, Präoptisches Areal, ventrolaterale präoptische Region), der Thalamus, das basale Vorderhirn, die Pons (v.a. dorsale Raphé-Kerne, Locus coeruleus) sowie eine Vielzahl an Neurotransmittern wie Acetylcholin (ACh), Noradrenalin (NA), Histamin, Serotonin (5-HT), Dopamin, Orexin/Hypocretin, Glutamat, Adenosin oder Gamma-Aminobuttersäure (GABA). Eine Beschreibung der komplexen reziproken Interaktionen der verschiedenen Hirnareale und Transmittersysteme ist an anderer Stelle ausführlich dargestellt (z.B. Espana & Scammell, 2004; Hobson & Pace-Schott, 2002; Pace-Schott & Hobson, 2002).

1.2 Das Gedächtnis

Das menschliche Gedächtnis stellt eine bemerkenswert komplexe kognitive Funktion dar. Es gibt eine Reihe von Modellvorstellungen zum Aufbau und zur Einteilung der Gedächtnissysteme (Buckner & Koutstaal, 1998). Traditionell werden in der Psychologie deklarative und non-deklarative Gedächtnissysteme unterschieden (Squire & Zola, 1996; Tulving, 1985). Während das deklarative Gedächtnis explizite Erinnerungen an Fakten und Ereignisse umfasst, bezeichnet das non-deklarative Gedächtnissystem eine Reihe heterogener Fähigkeiten (wie z.B. Konditionierung oder Priming), die i.d.R. implizit erworben wurden. Das prozedurale Gedächtnis für motorische Fertigkeiten gehört zu den im Rahmen der Schlaf-Gedächtnisforschung

am besten untersuchten non-deklarativen Gedächtnisarten (Diekelmann, Wilhelm & Born, 2009). Aktuelle neuronale Modellvorstellungen gehen davon aus, dass für das deklarative Gedächtnissystem vor allem mediale Temporallappenareale des Gehirns, wie der Hippocampus, von zentraler Bedeutung sind, während non-deklarative Gedächtnisinhalte unabhängiger von medialen temporalen Strukturen sind (Walker & Stickgold, 2006).

Im Allgemeinen werden drei fundamentale Gedächtnisprozesse unterschieden: Enkodierung oder Lernen, Speicherung sowie Abruf. Während Enkodierung und Abruf i.d.R. aktive Prozesse darstellen, liegt zwischen diesen beiden Phasen der Gedächtnisbildung die Speicherung und Konsolidierung der aufgenommen Informationen (Buckner & Koutstaal, 1998). Gedächtniskonsolidierung bezieht sich hierbei auf den Prozess, der nach dem Lernen andauert und durch den die neu gebildete Gedächtnisspur stabilisiert, transformiert und gestärkt wird. Hierbei werden die neu enkodierten Informationen mit bereits bestehenden Langzeiterinnerungen integriert (Born, Rasch & Gais, 2006). Es wird angenommen, dass während des graduellen Prozesses der Gedächtniskonsolidierung Erinnerungen immer unabhängiger von hippocampalen Strukturen werden. Sie werden in neocortikale Regionen übertragen, der Neocortex stellt letztlich den Langzeit-Gedächtnisspeicher dar (Squire, 1987). Während der Wachheit werden stetig neue sensorische Informationen wahrgenommen und weiterverarbeitet. Es besteht ein ständiger Informationsfluss durch den Thalamus zum Neocortex und von dort zum Hippocampus. Während des Schlafs fließen diese Informationen in entgegengesetzte Richtung vom mediotemporalen mittelfristigen Speicher zur Langzeitspeicherung im Neocortex (Anderer et al., 2002). Möglicherweise spielt der für Wachheit und die unterschiedlichen Schlafphasen charakteristische zentrale cholinerge Tonus für diese Prozesse eine entscheidende Rolle (Hasselmo, 1999).

Bereits vor über 100 Jahren beobachteten Müller und Pilzecker (Müller & Pilzecker, 1900; zitiert nach McGaugh, 2000), dass die Erinnerung an neu Erlerntes gestört wird, wenn kurz nach dem ursprünglichen Lernen neue Informationen aufgenommen werden. Sie schlussfolgerten, dass neue Erinnerungen zunächst in einem fragilen Zustand im Gedächtnis gespeichert werden und erst über die Zeit stabiler werden. Diesen Vorgang bezeichneten sie als Gedächtniskonsolidierung. Bis heute beeinflusst diese Konsolidierungshypothese die Forschung zum zeitlichen Verlauf der Gedächtnisbildung (McGaugh, 2000). Es wird aktuell angenommen, dass der Prozess der Gedächtniskonsolidierung zum einen zeitabhängig abläuft, die Gedächtnisinhalte also im Verlauf der Zeit stabiler werden, zum anderen gibt es zustandsabhängige Gedächtniskonsolidierung, bei der spezifische Zustände des Organismus den Prozess der Konsolidierung beeinflussen (Walker & Stickgold, 2004; Stickgold & Walker, 2005). Ein spezifischer, der Gedächtniskonsolidierung augenscheinlich förderlicher Zustand ist der des Schlafens.

1.3 Zum Zusammenhang zwischen Schlaf und Gedächtnis

Bereits sehr frühe Studien der Gedächtnisforschung zeigten einen Einfluss des nächtlichen Schlafes auf Lernprozesse. So beobachtet Ebbinghaus (1885) bei seinen klassischen Experimenten zum Vergessen als Funktion der vergangenen Zeit „daß Nacht und Schlaf (...) die Abnahme der Nachwirkung [des Lernens, Anm. d. Verf.] ganz besonders verlangsamen“ (Ebbinghaus, 1885, S. 104). Er erforschte dieses Phänomen jedoch nicht weiter. 1924 griffen Jenkins und Dallenbach die Ergebnisse von Ebbinghaus auf und untersuchten gezielt den Einfluss von Schlafen und Wachen auf die Vergessensrate. Ihre Probanden lernten Nonsenssilben und produzierten

diese nach 1, 2, 4 oder 8 Stunden frei. Das entsprechende Retentionsintervall fiel entweder auf die Tag- oder Nachtzeit und war daher mit kontinuierlicher Wachheit oder normalem Nachtschlaf gefüllt. Die Forscher fanden ein verlangsamtes Vergessen nach Nachtschlaf im Vergleich zur Wachheit. Daraus schlussfolgerten sie, dass Vergessen weniger ein Verfall alter Eindrücke und Assoziationen sei, sondern eher aufgrund von Interferenz, Inhibition oder Austilgung des Alten durch das Neue zustande käme. Mit der Verminderung des Bewusstseins stellt somit der Schlaf einen optimalen Zustand für die weitere Verarbeitung neuer Inhalte dar, da in dieser Zeit keine neuen interferierenden Inhalte aufgenommen werden. 1928 replizierte Dahl, anhand des Lernens sowie anschließenden Wiedererkennens sinnloser Silben und Figuren, die Ergebnisse von Jenkins und Dallenbach. Er schlussfolgerte, „daß bei Wachen nach dem Einprägen eine rückwirkende Hemmung auftritt, die ausbleibt, wenn man nach dem Lernen schläft“ (Dahl, 1928, S. 301).

Dass Schlaf eine positive Auswirkung auf Lernen und Gedächtnis hat, wurde in den nachfolgenden Jahrzehnten in einer Vielzahl an Studien gezeigt. Dieser sogenannte Schlaf-Gedächtnis-Effekt (Barrett & Ekstrand, 1972) konnte in einer großen Bandbreite an deklarativen Gedächtnisaufgaben (Backhaus, Hoeckesfeld, Born, Hohagen & Junghanns, 2008; Barrett & Ekstrand, 1972; Benson & Feinberg, 1975; Ellenbogen, Hulbert, Stickgold, Dinges & Thompson-Schill, 2006a; Gais & Born, 2004; Gais, Lucas & Born, 2006) sowie prozeduralen Gedächtnisaufgaben (Gais, Plihal, Wagner & Born, 2000; Smith, Nixon & Nader, 2004; Walker, Brakefield, Hobson & Stickgold, 2003; Walker, Brakefield, Morgan, Hobson & Stickgold, 2002) gefunden werden. Auch bei Aufgaben zum impliziten Wahrnehmungslernen (Huber, Ghilardi, Massimini & Tononi, 2004) und höheren kognitiven Funktionen wie der Einsicht (Wagner, Gais, Haider, Verleger & Born, 2004) wurden wiederholt die förderlichen Auswirkungen unterschiedlich langer Schlafperioden im Vergleich zu

äquivalenten Wachperioden beobachtet. Gómez, Bootzin und Nadel (2006) zeigten zudem, dass Schlaf sich bei 15-Monate alten Kleinkindern positiv auf die Abstraktion beim Erlernen der Sprache auswirkt.

Gais und Born (2004) verwendeten sowohl eine deklarative Wortpaar-assoziationsaufgabe, als auch eine prozedurale Spiegelzeichenaufgabe um den Einfluss der SWS-reichen ersten Nachthälfte mit einer Periode nächtlicher Wachheit zu vergleichen. Die Teilnehmer der Schlafgruppe erinnerten signifikant mehr Wörter nach dem dreistündigen Schlaf, als die Probanden, die während des Retentionsintervalls wach geblieben waren. Bezogen auf die Leistung in der non-deklarativen Spiegelzeichenaufgabe war die Wachgruppe der Schlafgruppe zwar etwas unterlegen, dieser Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant. Dies könnte damit zusammenhängen, dass für prozedurale Aufgaben der REM-reiche Schlaf der zweiten Nachthälfte bedeutsamer zu sein scheint (Plihal & Born, 1997).

Plihal, Pietrowsky und Born (1999) setzten ebenfalls die deklarative Wortpaar-assoziationsaufgabe sowie die prozedurale Spiegelzeichenaufgabe ein und verglichen die Auswirkungen der SWS-reichen ersten Nachthälfte mit denen der REM-Schlaf-reichen zweiten Nachthälfte. Zudem wurde weiterhin der Einfluss eines Glucocorticoidrezeptoragonisten im Hippocampus untersucht, indem entweder Dexamethason oder ein Placebo verabreicht wurden. Es gab zwei Versuchsbedingungen: früher Nachtschlaf und später Nachtschlaf. Die Probanden der frühen Schlafbedingung erreichten mehr als doppelt so viel SWS wie die Teilnehmer der späten Schlafgruppe, welche wiederum mehr als doppelt so viel REM-Schlaf aufwiesen, wie die frühe Schlafgruppe. In der Placebogruppe, in der man den reinen Einfluss der SWS- bzw. REM-Schlafreichen Nachthälften beobachten konnte, zeigte sich ein besonders förderlicher Einfluss des frühen Schlafs (Dominanz von SWS) auf die deklarative Wortpaarlernaufgabe, während der

späte Schlaf (Dominanz von REM-Schlaf) sich positiv auf die prozedurale Spiegelzeichenaufgabe auswirkte. Dieses Ergebnis verdeutlicht noch einmal die besondere Bedeutung des Schlafes der zweiten Nachthälfte für prozedurale Lernaufgaben und erklärt somit das beobachtete Fehlen der schlafabhängigen Verbesserung im Experiment von Gais und Born (2004). Die Dexamethasongabe beeinflusste entsprechend den Erwartungen die Cortisolkonzentration und somit auch differentiell die unterschiedlichen Gedächtnisaufgabentypen: Dexamethason unterdrückte die schlafabhängige Verbesserung bei der deklarativen Aufgabe, hatte jedoch keinen Einfluss auf die schlafabhängige Leistungsverbesserung bei der prozeduralen Lernaufgabe.

Walker et al. (2002) verglichen die Leistungen in einer prozeduralen Fingertappingaufgabe zwischen einer Wachgruppe, einer Wach-Schlafgruppe sowie einer Schlaf-Wachgruppe. Während die Wach-Schlafgruppe nach der Lernphase erst wach blieb und dann Nachtschlaf hielt, schliefen die Teilnehmer der Schlaf-Wachgruppe direkt nach dem Lernen, gefolgt von Wachheit am Tag. Das Retentionsintervall wurde für alle Gruppen gleich lang gehalten. Abgesehen von den zu erwartenden Übungseffekten zeigte sich in der Gruppe, deren Probanden während des gesamten Retentionsintervalls wach blieben, keine signifikante Leistungsverbesserung. Bei beiden Schlafgruppen (Wach-Schlaf und Schlaf-Wach) ergab sich eine signifikante Leistungsverbesserung jeweils erst, nachdem sie eine Schlafperiode hatten. Die Forschergruppe zeigte somit den essentiellen Beitrag einer Nacht mit Schlaf gegenüber einer gleichlangen Wachperiode für die Leistung in einer prozeduralen Lernaufgabe.

Die im Vorangegangenen beschriebenen Studien sollen an dieser Stelle nur exemplarisch für die Vielzahl an Studien stehen, die den Schlaf-Effekt für deklarative und non-deklarative Gedächtnisaufgaben zeigen konnten. Sie verdeutlichen auch die

mit dem Nachtschlafparadigma verbundenen unvermeidlichen methodischen Probleme. Oftmals findet das Lernen der Gedächtnisaufgaben in den verschiedenen Gruppen zu unterschiedlichen Zeiten statt (beispielsweise in der Schlafgruppe am Abend, in der Wachgruppe am Morgen). Daher können circadiane Effekte, welche die Lernprozesse beeinflussen können (Hockey, Davies & Gray, 1972; Lahl & Pietrowsky, 2006a; Nesca & Koulack, 1994; Tilley & Warren, 1983) nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin werden die Ergebnisse von Nachtschlafstudien durch die charakteristischen, je nach Tageszeit unterschiedlichen Alertnesslevel sowie zentralen Spiegel an Cortisol oder dem Wachstumshormon GH konfundiert, die das Lernen beeinflussen. Wie Plihal et al. (1999) zeigen konnten, hat besonders das Stresshormon Cortisol Einfluss auf die Gedächtnisbildung. Die oftmals in Nachtschlafstudien eingesetzte schlafdeprivierte Wachkontrollgruppe wird aus naheliegenden Gründen einem höheren Ausmaß an Stress und somit höheren Cortisolspiegeln ausgesetzt sein, als nicht schlafdeprivierte Probanden. Ein experimentelles Paradigma, welches Tagschlafepisoden anstelle von Nachtschlafphasen einsetzt, umgeht diese Störeinflüsse des deprivationsbedingten Stresses und der circadianen Einflüsse, da Lern- und Testphase für alle Probanden zur gleichen Zeit stattfinden können und die Teilnehmer der Wachgruppe nicht schlafdepriviert werden müssen (Lau, Tucker & Fishbein, 2010). Zudem wird während der Tageszeit kaum das Wachstumshormon GH ausgeschüttet und die Cortisolkonzentration ist üblicherweise recht gering (Backhaus & Junghanns, 2006).

1.4 Das Tagschlafparadigma

Kurze Phasen des Schlafens am Tag, oft in Form von Mittagsschlaf, sind durchaus verbreitet in der deutschen Bevölkerung. Eine umfangreiche Befragung von in

Deutschland Lebenden unterschiedlicher Altersgruppen (Ohayon & Zulley, 1999) ergab, dass immerhin ein knappes Viertel der Bevölkerung gewohnheitsmäßig tagsüber schläft. Bei der Mehrheit der in westlichen Industriekulturen lebenden Menschen dominiert ein monophasisches Schlafmuster mit einer einzelnen langen Schlafperiode – üblicherweise in der Nacht. Allerdings scheint dies ein Zugeständnis an die sozialen, kulturellen und erwerbswirtschaftlichen Anforderungen zu sein. Bei außerhalb des Erwerbslebens Stehenden, beispielsweise Rentnern, herrscht oftmals ein polyphasisches Schlafmuster mit einer zweiten, kürzeren Schlafperiode am Tag vor. Auch Kinder im Vorschulalter halten üblicherweise Mittagsschlaf. Ebenso findet sich traditionell in südeuropäischen Ländern wie Italien oder Spanien eine mittägliche Ruhe- und Schlafphase, die sogenannten Siesta (Broughton, 1983). Gewöhnlich liegt die Tagschlafepisode zwischen 13-15 Uhr, einem Zeitfenster deutlich erhöhter Einschlafneigung, die erstmals von Blake (1967) als post-lunch dip bezeichnet wurde. Hierbei muss erwähnt werden, dass die erhöhte Einschlafneigung entgegen dem, was der Name vermuten lässt, nicht an die Nahrungsaufnahme gebunden ist, sondern in Beziehung zur Tageszeit und der damit verbundenen erhöhten zentralen Körpertemperatur steht (Broughton, 1989).

Der Schlaf-Gedächtnis-Effekt konnte bereits in einer Reihe von Tagschlaf-Studien gezeigt werden. Beispielsweise wiesen Mednick, Nakayama und Stickgold (2003) bei einer Texturunterscheidungsaufgabe nach, dass Tagschlaf, sofern er SWS beinhaltet, einen Leistungsabfall bei dieser impliziten Gedächtnisaufgabe verhindern kann. Die Forscher verglichen die Leistung einer Wachkontrollgruppe mit einer 60-minütigen Tagschlafbedingung sowie einer Tagschlafgruppe, die im Mittel 96 Minuten schlief. Zudem wurde die Leistung nach einer gesamten Nacht mit normalem Nachtschlaf verglichen. Probanden, die tagsüber wach blieben, zeigten einen charakteristischen Leistungsabfall bei der Texturunterscheidungsaufgabe,

während ein Tagschlaf mit SWS diesen verhinderte. Enthielt der Tagschlaf zudem REM-Schlafanteile, wie es bei der 96-Minuten Schlafgruppe im Vergleich zur 60-Minuten Schlafgruppe der Fall war, so war sogar eine Leistungsverbesserung in der Aufgabe zu verzeichnen. Diese Leistungsverbesserung war äquivalent zu der, die nach einer gesamten Nacht mit Schlaf zu beobachten war.

Backhaus und Junghanns (2006) verglichen die Leistungen in einer prozeduralen und einer deklarativen Gedächtnisaufgabe bei einer Wach-Kontrollgruppe mit einer Tagschlafgruppe unter Berücksichtigung von Alertnesslevel, Müdigkeit und Cortisolausschüttung. Alle Probanden lernten eine Paarassoziationsaufgabe (Gesichter-Namen-Assoziationen) sowie eine Spiegelzeichenaufgabe und sahen anschließend entweder einen Tierfilm (Wachgruppe) oder schliefen für durchschnittlich etwa 45 Minuten (Tagschlafgruppe). Die Autoren fanden einen positiven Einfluss des Tagschlafs, welcher v.a. aus dem leichten Schlafstadium 2 bestand, für die prozedurale Spiegelzeichenaufgabe, jedoch nicht für die deklarative Paarassoziationsaufgabe. Die Leistung in beiden Aufgaben wurde nicht durch Müdigkeit (erhoben mit der Stanford Sleepiness Scale, Hoddes, Zarcone, Smythe, Phillips & Dement, 1973), Alertnesslevel (getestet mit der TAP, Zimmermann & Fimm, 1993) oder dem Cortisolspiegel (bestimmt durch Speichelproben) konfundiert. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen fanden Tucker et al. (2006) einen positiven Einfluss eines Tagschlafs bei einer deklarativen Paarassoziationsaufgabe, jedoch nicht bei einer prozeduralen Spiegelzeichenaufgabe. Ihre Probanden erinnerten nach einem etwa 47-minütigen Mittagsschlaf mehr Wortpaare, während keine Gruppenunterschiede zur Wachkontrollgruppe in den Parametern der Spiegelzeichenaufgabe gefunden wurden. Im Unterschied zu der Studie von Backhaus und Junghanns erreichten im Experiment von Tucker und Kollegen allerdings etwa 50% der Teil-

nehmer auch die tiefen Schlafstadien 3 und 4 (im Experiment von Backhaus und Junghanns waren es weniger als 5%).

Gorfine, Yeshurun und Zisapel (2007) setzten in ihrem Experiment eine Tagschlaf- und eine Wachbedingung ein, deren Leistungen sie bei einer deklarativen Wortpaarassoziationsaufgabe verglichen. Weiterhin wurde in dieser Studie der Einfluss von Melatonin und der hippocampalen Aktivierung im fMRT gemessen. Die Probanden der Tagschlafbedingung schliefen nach dem Lernen ungefähr eine Stunde, während sie in der Wach-Kontrollbedingung Fernsehen schauten. Die Teilnehmer, die geschlafen hatten, zeigten eine signifikant bessere Leistung in der verbalen Paarassoziationsaufgabe, als ihre Vergleichsgruppe. Die Melatoningabe beeinflusste zwar die Schläfrigkeit sowie die parahippocampale Aktivierung der Teilnehmer, jedoch nicht die Gedächtnisleistung.

Auch Lau et al. (2010) beobachteten die Überlegenheit einer Tagschlafgruppe gegenüber einer Wachgruppe bei einer Gesicht-Objekt-Paarassoziationsaufgabe. Die Probanden der Tagschlafgruppe schliefen im Durchschnitt 55 Minuten, wobei weniger als ein Viertel den SWS erreichten. Die Tagschlafprobanden vergaßen signifikant weniger der zuvor eingprägten Assoziationen, als die Wach-Vergleichsgruppe.

Lahl, Wispel, Willigens und Pietrowsky (2008) untersuchten den Einfluss ultrakurzer Tagschlafepisoden auf die deklarative Gedächtnisleistung bei einer Wortlistenlernaufgabe. Hierzu wurde in einem ersten Experiment in einem within-subjects-design eine Wach- mit einer Tagschlafbedingung verglichen. Nach einem etwa 25-minütigen Mittagsschlaf erinnerten die Probanden signifikant mehr der zuvor gelernten Adjektive, als nach Wachheit. In einem zweiten Experiment wurden dann, ebenfalls in einem messwiederholten Design, drei Bedingungen miteinander verglichen: eine Wachkontrollbedingung, eine Bedingung in der die Probanden nur

sechs Minuten schlafen durften sowie eine mit der Tagschlafgruppe des ersten Experiments vergleichbare Gruppe, die für maximal 50 Minuten schlafen konnte. Zwischen jedem experimentellen Durchgang lag eine Woche, um Übertragungseffekte zu vermeiden. Es zeigte sich, dass beide Tagschlafbedingungen zu einer signifikant besseren Erinnerungsleistung führten, als die entsprechende Wachkontrollbedingung. Die lange Tagschlafbedingung, in der die Teilnehmer in etwa 36 Minuten schliefen, war wiederum signifikant der ultrakurzen Tagschlafbedingung überlegen, in der nur sechs Minuten schlafend verbracht wurden. Es zeigte sich so ein hochsignifikanter linearer Trend, bei dem in Abhängigkeit von der Tagschlafdauer mehr Wörter erinnert wurden. Aufgrund der Beobachtung, dass bereits extrem kurze Tagschlafepisoden die Gedächtnisleistung positiv beeinflussen, vermuteten die Autoren, dass möglicherweise bereits der Schlafbeginn Prozesse in Gang setzt, welche auf die Gedächtniskonsolidierung deklarativer Inhalte Einfluss nehmen.

1.5 Hypothesen zur Erklärung des Schlaf-Gedächtnis-Effekts

Neben der soeben erwähnten Hypothese, dass bei Schlafbeginn gedächtniskonsolidierende Prozesse angestoßen werden, die auch weiterlaufen, wenn der Schlafzustand nicht weiter aufrecht erhalten wird (Lahl et al., 2008), gibt es eine Reihe weiterer Hypothesen zur Erklärung des Schlaf-Effekts. Diese kann man grob danach einteilen, ob angenommen wird, dass die Rolle des Schlafs bei der Gedächtniskonsolidierung eine aktive oder eher passive ist (Ellenbogen, Payne & Stickgold, 2006b). Zu den Ansätzen, die eine passive Schutzfunktion durch den Schlaf annehmen, gehört die Interferenzhypothese. Zu den Annahmen einer aktiven Rolle des Schlafes gehören Erklärungsansätze zum Einfluss spezifischer hirnelektrischer Phänomene (d.h. EEG-Aktivität in bestimmten Bandbreitenbereichen),

die Hypothese des neuronalen Replays sowie zur differentiellen Bedeutung unterschiedlicher Schlafphasen (Sequentielle Hypothese oder Dual-Prozess-Hypothese).

Buzsáki (1998) stellte beispielsweise ein 2-Phasen-Modell der Informationsverarbeitung auf, bei dem Schlaf eine aktive Rolle zukommt: nach diesem hat Schlaf die Funktion, synaptische Verbindungen, die zuvor im „wachen“ Gehirn geformt wurden, zu konsolidieren und so zu erhalten (das zelluläre Modell hierfür ist das der Langzeitpotenzierung). Eine besondere Rolle spielen nach diesem Modell die synchrone neuronale Aktivität im SWS (die in thalamocorticalen Kreisen generierten sogenannten sharp waves, d.h. 50-100 ms andauernde hochsynchronisierte Wellen), hippocampale Wellen (hippocampal ripples: kurze schnelle Oszillationen 100-200 Hz), die Delta-Aktivität des SWS (1-4 Hz) und die Theta-Aktivität (6-8 Hz) während des REM-Schlafs. Buzsáki stellte zudem die Hypothese auf, dass die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafs auf einer verdeckten Reaktivierung der Netzwerke beruht, die bereits während der Wachphase an der Enkodierung beteiligt waren. Verdeckte Reaktivierung meint hierbei, dass diese nicht mit einem bewussten Wiedererleben der Erinnerungen verbunden ist. Im Tierexperiment konnte ein derartiges neuronales Replay bereits bei Aufgaben zum Labyrinthlernen gezeigt werden (Wilson & McNaughton, 1994). Auch im Humanexperiment fanden sich Hinweise zu einer erneuten lokalen Aktivierung von Hirnregionen, die bereits während der Wachheit beim Lernen der Aufgabe aktiv waren (Huber et al., 2004; Laureys et al., 2001; Maquet et al., 2000, Peigneux et al., 2004). Dieses neuronale Replay soll letztlich nach Buzsáki (1998) den Transfer der Informationen vom Hippocampus in neocortikale Strukturen widerspiegeln.

Anderer et al. (2002) schlussfolgern aus ihren Untersuchungen mit der Low-resolution brain electromagnetic tomography (LORETA-Methode), dass unter-

schiedliche Schlafphasen durchaus einen differentiellen Einfluss auf die Gedächtniskonsolidierung haben können. So soll die für den SWS charakteristische langsame Delta-Aktivität für die Konsolidierung expliziter Informationen besonders bedeutsam sein, während die erhöhte Theta-Aktivität während des REM-Schlafs für die Konsolidierung impliziten Materials wichtig sei. Dies entspricht den Annahmen der sogenannten Dual-Prozess-Hypothese. Diese geht davon aus, dass die Konsolidierung expliziter oder deklarativer Gedächtnisinhalte primär während des SWS stattfindet, während REM-Schlaf zentral für non-deklarative oder implizite Gedächtnisinhalte sei (Born, 2010). Somit wird also postuliert, dass der Einfluss des Schlafstadiums auf die Gedächtniskonsolidierung aufgabentypabhängig sei. Für diese Hypothese sprechen einige experimentelle Befunde, die an einer Reihe von Gedächtnisaufgaben zeigen konnten, dass hippocampus-abhängige deklarative Lernaufgaben besonders von SWS-reichem frühem Schlaf profitieren, während nicht-deklarativen prozeduralen Aufgabe REM-reicher später Schlaf einen Nutzen bringt (Born & Plihal, 2000; Plihal & Born, 1997; Plihal et al., 1999; Smith, 1995; Smith et al., 2004).

Die Sequentielle Hypothese geht von einer sequentiellen Verarbeitung der Erinnerungen während des Schlafs aus und nimmt somit an, dass die Gedächtnisbildung durch den SWS angestoßen und letztlich während des sich anschließenden REM-Schlafs vollendet wird (Curcio, Ferrara & De Gennaro, 2006; Giuditta et al., 1995). Hierzu passen auch Befunde, die zeigen, dass selektive REM-Schlafdeprivation zu gemischten Ergebnissen hinsichtlich der Gedächtniskonsolidierung verschiedener Aufgaben führt und nicht zwingend nur zu einer beeinträchtigten Gedächtniskonsolidierung prozeduraler Lernaufgaben (Born et al., 2006). Weiterhin gibt es Befunde, nach denen SWS auch prozedurale Fertigkeiten verbessert (Gais et al., 2000) und REM-Schlaf sich günstig auf deklarative Aufgaben auswirkt (Fogel,

Smith & Cote, 2007; Rauchs et al., 2004). Für die Sequentielle Theorie gibt es ebenfalls eine Reihe bestätigender Befunde, die zeigen, dass erst eine ganze Nacht mit Schlaf, bestehend aus allen Schlafphasen und somit der regelhaften Abfolge von Non-REM- und REM-Schlaf, eine optimale Gedächtniskonsolidierung gewährleistet (z.B. Mednick et al., 2003; Stickgold, James & Hobson, 2000; Stickgold, Whidbee, Schirmer, Patel & Hobson, 2000; Walker et al. 2002).

Allerdings gibt es auch experimentelle Befunde, die eine besondere Bedeutung einer anderen Non-REM-Schlafphase als des SWS hervorheben: der leichteren Schlafphase 2 und der damit verbundenen charakteristischen Spindelaktivität. Schlafspindeln sind gruppierte zu- und abnehmende EEG-Phänomene mit einer Frequenz von etwa 7-14 Hz und einer Dauer von wenigen Millisekunden bis zu 3 Sekunden (Seynowski & Destexhe, 2000). Schabus und Kollegen (2004) zeigten eine besondere Bedeutung der Spindelaktivität für die Gedächtniskonsolidierung bei einer deklarativen Paarassoziationslernaufgabe. Auch Gais, Mölle, Helms und Born (2002) fanden einen Zusammenhang zwischen der Dichte an Schlafspindeln während des Nachtschlafs und dem Lernerfolg bei einer deklarativen Wortpaarassoziationsaufgabe. Tucker und Fishbein (2009) beobachteten eine Korrelation zwischen der Spindelaktivität und der Leistung in einer prozeduralen Lernaufgabe. Walker und Kollegen (2002) konnten ebenfalls nach dem Lernen einer Fingertappingaufgabe einen Zusammenhang zwischen der Leistung bei dieser prozeduralen Lernaufgabe und der Schlafspindeldichte in der Schlafphase 2 des sich dem Training anschließenden Nachtschlafes beobachten.

Die Interferenzhypothese erklärt das abgeschwächte Vergessen während des Schlafs im Vergleich zu äquivalenten Wachperioden durch die Abwesenheit neuen Lernens (Wixted, 2004). Bereits Jenkins und Dallenbach (1924) nahmen an, dass der von ihnen beobachtete Schlaf-Gedächtnis-Effekt aufgrund einer Reduktion der

retroaktiven Interferenz während des Nachtschlafs zustande gekommen sei. Dabei entsteht die retroaktive Interferenz aufgrund der normalen Wachaktivitäten der Personen. Warum eine anhaltende kognitive Betätigung Vergessen induzieren sollte, erklärt Wixted (2004) folgendermaßen: die verfügbaren Ressourcen zur Konsolidierung kürzlich geformter Erinnerungen seien nicht in unbegrenzten Ausmaß vorhanden. Mentale Beanspruchung, wie sie üblicherweise während der Wachheit vonstatten gehe, aktiviere zweifelsohne hippocampale Regionen, wenn die mit der mentalen Beschäftigung verbundenen Gedächtnisinhalte gebildet werden. Selbst wenn das in der Zwischenzeit konsumierte Beschäftigungsmaterial nicht in irgendeiner Beziehung zum ursprünglichen Lernmaterial stehe, so beanspruche das neue Lernen doch einige der begrenzten Ressourcen, die sonst für die Konsolidierung der ursprünglich gelernten Informationen zur Verfügung gestanden hätten. Im Ergebnis laufe der Konsolidierungsprozess für das ursprüngliche Lernmaterial nicht optimal. Während des Schlafens findet aufgrund der charakteristischen Verminderung des Bewusstseins und der erhöhten Reiz-Reaktionsschwelle eine gewisse Abschirmung gegenüber externalen sowie internalen Reizen statt. Aufgrund dieser schlafbedingten Blockade sensorischen Inputs ist das Gehirn in der Lage, zuvor enkodierte Informationen weiterzuverarbeiten, ohne dass parallel konkurrierende neue Reize eingehen und verarbeitet werden müssen. Somit würde Schlaf einen optimalen Zustand zur ungestörten Gedächtniskonsolidierung darstellen. Für diesen Erklärungsansatz sprechen einige empirische Befunde (z.B. Gottselig et al., 2004; Korman et al., 2007; Rieth, Cai, McDevitt & Mednick (2010), es gibt allerdings auch widersprechende Ergebnisse (Ellenbogen et al., 2006a; Hockey et al., 1972).

Die Forschungsgruppe um Gottselig (2004) überprüfte die Interferenzhypothese, indem sie die Leistung bei einer auditorischen Lernaufgabe zwischen einer Tagschlafgruppe, einer aktiven sowie einer passiven Wachgruppe miteinander

verglichen. Nach dem Lernen eines auditorischen Tonmusters hielten die Probanden entweder einen etwa 80-minütigen Mittagsschlaf, sahen aufmerksam einen Lehrfilm (aktiv wach) oder lagen in einem abgedunkelten Raum im Bett (passiv wach). Schlaf- und passive Wachgruppe sollten also einem vergleichbaren sehr niedrigen Maß an Interferenz ausgesetzt sein. Entsprechend den Annahmen der Interferenzhypothese waren sowohl die Mittagsschlaf- als auch die passive Wachbedingung der aktiven Wachgruppe überlegen, es fand sich jedoch kein Unterschied zwischen diesen beiden interferenzarmen Bedingungen.

Korman et al. (2007) untersuchten den Einfluss retrograder Interferenz auf eine prozedurale Fingertappingaufgabe, indem sie neben der ursprünglichen Lernsequenz noch eine zweite interferierende Sequenz lernen ließen und die Teilnehmer vorher einen Nacht- oder Tagschlaf hielten. Die Probanden lernten also die Ursprungssequenz, hielten einen Tagschlaf und lernten danach entweder die konkurrierende Sequenz (Tagschlaf/Interferenz) oder nicht (Tagschlaf/nicht-Interferenz). Zudem gab es zwei Nachtschlafgruppen, in welchen die Teilnehmer entweder Interferenztraining erhielten oder nicht (Nachtschlaf/Interferenz vs. Nachtschlaf/nicht-Interferenz). Die Autoren zeigten, dass der negative Effekt des Interferenztrainings auf die ursprüngliche Lernsequenz sowohl durch Tag- als auch Nachtschlaf verhindert werden konnte. Die ursprüngliche Lernsequenz war also vor dem störenden Einfluss des Interferenztrainings geschützt, wenn zwischen Ursprungslernen und Interferenztraining eine Tagschlafphase lag. Dabei war der schützende Einfluss der Tagschlafperiode vergleichbar mit dem einer gesamten Nacht mit Schlaf.

Rieth et al. (2010) verglichen die Leistung bei einer prozeduralen Pursuit-Rotor-Task zwischen einer Tagschlafgruppe und einer ruhigen Wachbedingung. Sie fanden keinen Unterschied beim Erlernen dieser impliziten Gedächtnisaufgabe

zwischen beiden interferenzarmen Bedingungen, was im Sinne der Interferenzhypothese interpretiert werden kann. Allerdings gab es in dieser Studie keine herkömmliche aktive Wach-Kontrollbedingung.

In der Studie von Ellenbogen und Kollegen (2006a) lernten die Probanden eine Wortpaarassoziationsaufgabe gefolgt von einem 12-stündigen Retentionsintervall, welches entweder mit Nachtschlaf oder Wachheit am Tage gefüllt war. Das Lernen fand somit entweder am Abend (Schlafgruppen) oder am Morgen statt (Wachgruppen). Zudem wurde in je einer Schlaf- und Wachgruppe ein Interferenztraining direkt vor dem Abruf durchgeführt, d.h. die Probanden lernten eine zweite Liste mit anderen Wortpaaren. Es ergaben sich somit vier Bedingungen: Lernen am Abend gefolgt von Nachtschlaf und Abruf am Morgen (Nachtschlaf/ nicht-Interferenz), Lernen am Abend gefolgt von Nachtschlaf, Interferenztraining direkt vor dem Abruf (Nachtschlaf/ Interferenz), Lernen am Morgen mit anschließender Wachheit während des Tages und Abruf am Abend (Wach/ nicht-Interferenz) sowie Lernen am Morgen mit anschließender Wachheit während des Tages, Interferenztraining und Abruf am Abend (Wach/ Interferenz). In den beiden Gruppen ohne Interferenztraining war die Nachtschlafgruppe der Tagwach-Gruppe tendenziell überlegen (Schlaf-Effekt), während in den beiden Gruppen mit Interferenztraining die Schlaf- der Wachgruppe sogar deutlich überlegen war. Dies kann im Sinne der Interferenzhypothese so interpretiert werden, dass die ursprünglich gelernte Wortliste durch den anschließenden Nachtschlaf bereits so gut konsolidiert worden war, dass das spätere Lernen der interferierenden Wortliste keinen störenden Einfluss mehr ausübte. Die Autoren untersuchten daraufhin eine Zusatzgruppe, bei der das Ursprungslernen am Abend stattfand, gefolgt von Nachtschlaf. Das Interferenztraining und der Abruf erfolgten jedoch erst am Abend nach einem Tag Wachheit und einem 24-stündigen Retentionsintervall. Während dieser Wachheit waren die Probanden der ganz

normalen alltäglichen (d.h. nicht experimentell induzierten) Interferenz ausgesetzt. Hiermit sollte quasi eine natürliche Interferenzsituation geschaffen werden, die man mit den beiden Interferenzgruppen des Ursprungsexperiments vergleichen kann. Diese 24-Stunden Nachtschlafgruppe zeigte jedoch eine hochsignifikant bessere Leistung, als die Wach/Interferenz-Gruppe, die ja einem vergleichbaren Zeitintervall an Interferenz ausgesetzt war. Es gab keinen Unterschied zur Nachtschlaf/Interferenz-Bedingung. Die Autoren schlussfolgerten daraufhin, dass der positive Einfluss des Schlafs auf das deklarative Gedächtnis nicht nur passiv sei im Sinne eines reinen Schutzes vor Interferenz, sondern dass Schlaf aktiv Erinnerungen stabilisiere, so dass sie resistent gegenüber interferierenden Einflüssen des nächsten Tages werden.

1.6 Problemstellung der vorliegenden Arbeit

Letztlich ist es aktuell ungeklärt, ob die Rolle des Schlafs für die Gedächtniskonsolidierung eine aktive oder passive ist. Es gibt zudem trotz der dargestellten reichen empirischen Hinweise (siehe aktuelle Übersichtsarbeit von Diekelmann & Born, 2010) keinen Konsens darüber, ob Gedächtniskonsolidierung überhaupt eine essentielle Schlaffunktion darstellt (Siegel, 2001; Vertes, 2004; Vertes & Siegel, 2005). Weiterhin gibt es zwar eine Vielzahl an experimentellen Befunden, die einen Schlaf-Gedächtnis-Effekt auch für kurze Tagschlafphasen aufzeigen (siehe Abschnitt 1.4), aber auch diesbezüglich gibt es widersprechende Befunde (Axmacher, Haupt, Fernández, Elger & Fell, 2008; Hockey et al., 1972; Mednick, Makovski, Cai & Jiang, 2009).

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, zum einen den Schlaf-Gedächtnis-Effekt für kurze Tagschlafepisoden zu replizieren und zum anderen die Interferenz-

hypothese als passiven Erklärungsansatz für den beobachteten positiven Einfluss des Tagschlafs auf die Gedächtnisleistung zu überprüfen. Der Fokus der Arbeit soll dabei nicht auf dem differentiellen Einfluss verschiedener Schlafphasen liegen und somit also nicht Aspekte des „wann“ (in welcher Schlafphase) klären. Weiterhin sollen auch Fragen dazu, „wo“, also in welcher Hirnregion, Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes stattfindet nicht Inhalt der Arbeit sein.

Vielmehr hat sich die Verfasserin mit der Überprüfung der Interferenzhypothese im Tagschlafparadigma das Ziel gesetzt, Aufschluss darüber zu geben, ob nicht auch andere interferenzarme Zustände die Gedächtniskonsolidierung ebenso positiv beeinflussen können, wie es der Schlaf tut. Erkenntnisse diesbezüglich hätten zudem weitreichende methodische Konsequenzen für die Schlaf-Gedächtnisforschung, da es vorstellbar ist, dass durch die Wahl einer entsprechenden mehr oder weniger interferenzreichen Beschäftigung für die Wachkontrollgruppe die Studienergebnisse zum Schlaf- Effekt konfundiert werden könnten.

Daher wurden zwei Experimente durchgeführt, in denen die Leistungen in verschiedenen Lernaufgaben zwischen einer herkömmlichen Wach-Kontrollgruppe mit denen einer Tagschlafgruppe sowie einer weiteren interferenzarmen Wachgruppe verglichen wurden (Experimente 1 und 2). Weiterhin wurde in einem dritten Experiment der methodischen Frage nachgegangen, ob die Abschirmung gegen potentiell interferierende Reize optimalerweise sofort erfolgen sollte, oder aber ein gewisser zeitlicher Abstand zwischen Lernen und Schlaf liegen kann. Hierzu wird eine Wachgruppe mit einer Tagschlafgruppe, die sofort nach dem Lernen schlafen darf sowie einer Tagschlafgruppe, die erst mit einiger zeitlicher Verzögerung schlafen darf, verglichen (Experiment 3).

1.7 Experiment 1: Die gedächtniskonsolidierende Funktion von Schlaf und Entspannungshypnose

Zur Überprüfung der Fragestellung, ob Schlaf sich deshalb positiv auf die deklarative und prozedurale Gedächtniskonsolidierung auswirkt, weil er den Organismus vor potentiell interferierenden Reizen abschirmt, wurde neben der Tagschlafbedingung eine weitere interferenzarme Bedingung eingesetzt: die Entspannungshypnose. Im Sinne der Interferenzhypothese wurde angenommen, dass beide interferenzarmen Zustände, der Tagschlaf ebenso wie die Entspannungshypnose, zu einer besseren Gedächtniskonsolidierung führen sollten, als dies nach einer Wach-Periode der Fall ist. Weiterhin ist angenommen worden, dass in beiden interferenzarmen Gruppen die Gedächtniskonsolidierung vergleichbar optimiert ablaufen kann und sich daher kein Unterschied zwischen Tagschlaf- und Entspannungshypnosegruppe zeigen sollte.

47 deutschsprachige Versuchsteilnehmer wurden einer von drei Gruppen randomisiert zugeteilt: einer Wach-Kontrollgruppe ($n = 15$), einer Tagschlafgruppe ($n = 17$) sowie einer Entspannungshypnosegruppe ($n = 15$). Die Probanden lernten eine deklarative sowie eine prozedurale Aufgabe. Als deklaratives Lernmaterial wurde eine aus 30 Adjektiven bestehende Wortliste eingesetzt, die mit der Software Equiword (Version 1.2; Lahl & Pietrowsky, 2006b) erstellt wurde. Die Adjektive wurden viermal in unterschiedlicher Reihenfolge auditiv über ein PC- Programm mit einem Interstimulusintervall von 1000 ms präsentiert. Beim späteren Abruf mussten die Probanden frei so viele Wörter der Liste wie möglich wiedergeben, wobei die Reihenfolge der Adjektive dabei unerheblich war. Als abhängige Variable wurde die Vergessensrate berechnet, welche die initiale Lernleistung zur post-Treatment-Gedächtnisleistung ins Verhältnis setzt. Somit wird die Baseline-Gedächtnisleistung

(sofortiger Abruf) mit bei der Betrachtung der post-Treatment Gedächtnisleistung (verzögerter Abruf) berücksichtigt.

Zur Messung der prozeduralen Gedächtnisleistung wurde eine Spiegelzeichenaufgabe durchgeführt, bei der die Probanden einen fünfzackigen Stern mit einem photosensitiven Stift so schnell und genau wie möglich nachzeichnen mussten, den sie nur über einen Spiegel sehen konnten. Hierzu wurde die Apparatur Mirror-Trace-PC der Firma Hasomed GmbH eingesetzt. Als abhängige Variable wurde die Geschwindigkeit (in ms), die Anzahl der Fehler sowie die Fehlerzeit (Anteil der Zeit, die außerhalb der vorgegebenen Figur verbracht wurde) erhoben. Bei allen Versuchspersonen wurden einheitlich Elektroden zur Messung der EEG-, EOG- und EMG-Aktivität entsprechend dem 10/20-System von Jasper (1958) an folgenden der Standard-Polysomnographie entsprechenden Positionen angebracht: C3/M2, C4/M1, bilateral EOG, Kinn-EMG am Musculus submentalis. Somit konnte sichergestellt werden, dass die Probanden der Tagschlafgruppe tatsächlich geschlafen haben bzw. dass die Probanden der Entspannungshypnosegruppe nicht während der Entspannung eingeschlafen sind. Die Messung wurde mit einem portablen Polygraphen vorgenommen. Die spätere Offline-Auswertung der Polygramme erfolgte durch zwei unabhängige Rater, die blind für die jeweiligen Versuchsbedingungen waren, entsprechend den Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968).

Der Versuchsablauf gliederte sich in eine Lern-, Treatment- und Abruf- Phase: Nach dem Anbringen der Elektroden lernten alle Versuchspersonen die deklarative und prozedurale Gedächtnisaufgabe (Lernphase) gefolgt von einem sofortigen Abruf zur Bestimmung der Baseline-Gedächtnisleistung. Anschließend erfolgte die Gruppenzuteilung (Treatment) via Losverfahren. In der Wach-Kontrollgruppe sollten die Probanden während des einstündigen Retentionsintervalls einfache nonverbale PC-Spiele spielen. Sie durften den Laborraum nicht verlassen. In der

Tagschlafgruppe legten sich die Teilnehmer in einem schallisolierten abgedunkelten Raum in ein Bett und versuchten, zu schlafen. Etwa 50 Minuten nachdem das Licht im Laborraum ausgeschaltet worden war, wurden die Probanden geweckt. Die Elektroden wurden entfernt, so dass sie sich währenddessen von möglicher residualer Müdigkeit erholen konnten. Die Versuchspersonen der Entspannungshypnosegruppe nahmen eine entspannte Sitzposition ein, schlossen die Augen und folgten aufmerksam der CD-Präsentation der Entspannungshypnose. Dabei waren sie instruiert, sich möglichst in die beschriebene Situation hineinzusetzen und zu entspannen. Es wurde gegenüber den Probanden allerdings nie von einer Hypnose, sondern stets von einer sehr tiefen Entspannung gesprochen, um Vorbehalte und aversive Gefühle gegenüber dem Treatment zu vermeiden. Zur Entspannungshypnose wurde die Audio-CD „Mit den Augen eines Tigers 2 – Tiefenentspannung nach Milton H. Erickson“ von Martin Bökmann eingesetzt. Hieraus wurde der 35-minütige Track „In einem anderen Land“ verwendet. Nach Ablauf dieser Zeit durften die Teilnehmer für 15 Minuten nonverbale PC-Spiele spielen, bevor auch ihnen die Elektroden entfernt wurden. 60 Minuten nach dem sofortigen Abruf erfolgte für alle Versuchspersonen einheitlich der verzögerte Abruf der deklarativen und prozeduralen Aufgabe (Abrufphase).

Es ergaben sich keine Gruppenunterschiede bezüglich der initialen Lernleistung (Baseline-Gedächtnisleistung) bei der deklarativen ($F_{2,44} = 0.92$, $p = .41$) oder prozeduralen Aufgabe (Fehlerzahl: $F_{2,44} = 1.61$, $p = .21$; Geschwindigkeit: $F_{2,44} = 0.08$, $p = .93$). Im verzögerten Abruf erinnerte die Tagschlafgruppe einige Adjektive der deklarativen Lernaufgabe mehr als die Entspannungshypnosegruppe. Beide interferenzarmen Bedingungen waren der Wach-Kontrollgruppe überlegen (siehe Abbildung 1). Hinsichtlich der Vergessensrate (Unterschied zwischen verzögertem und sofortigem Abruf) bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den drei

Gruppen ($F_{2,44} = 6.83$, $p = .003$). Dabei vergaßen die Probanden der Wachgruppe mehr Wörter, als die Teilnehmer der Tagschlafgruppe ($t = 2.70$, $p = .011$) sowie die Probanden der Entspannungshypnosegruppe ($t = 3.34$, $p = .002$). Es ergab sich erwartungsgemäß kein signifikanter Unterschied zwischen beiden interferenzarmen Bedingungen (Schlaf vs. Entspannungshypnose $t = -0.84$, $p = .41$).

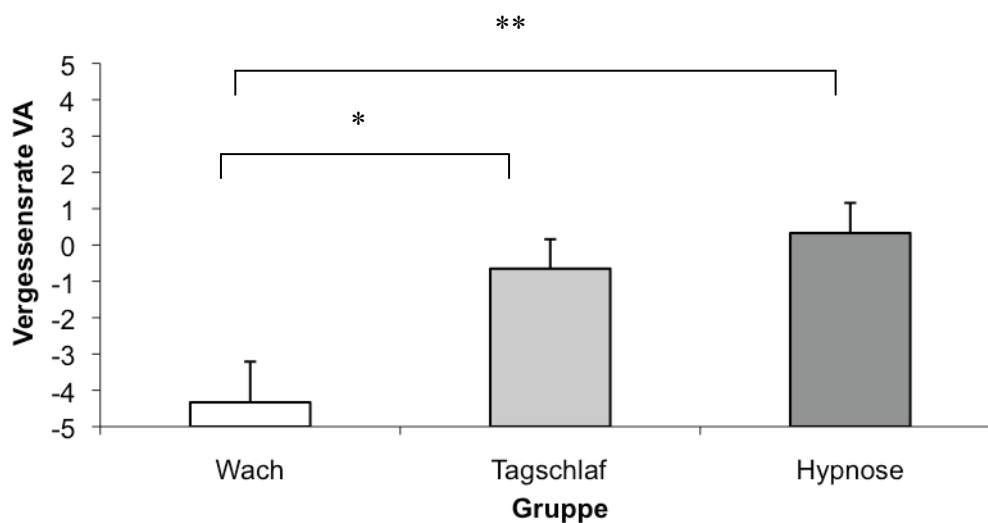


Abbildung 1: Deklarative Gedächtnisleistung (Vergessensrate Wortliste) der drei Bedingungen im verzögerten Abruf (VA). Die Fehlerbalken entsprechend Standardmessfehlern. ** $p \leq .01$

In Bezug auf die prozedurale Lernaufgabe (Spiegelzeichnen des Sterns) zeigten sich hinsichtlich der Fehlerzeit keine signifikanten Gruppenunterschiede ($F_{2,44} = 0.50$, $p = .61$). Ebenso war kein signifikanter Unterschied bezüglich der Geschwindigkeit ($F_{2,44} = 0.27$, $p = .77$) oder Anzahl der Fehler ($F_{2,44} = 1.89$, $p = .16$) zu verzeichnen.

Im Hinblick auf die deklarative Gedächtnisleistung konnten somit die aufgestellten Hypothesen bestätigt werden: beide interferenzarmen Bedingungen – Tagschlaf ebenso wie Entspannungshypnose – führten zu einer besseren

Erinnerungsleistung für die Adjektivliste, als die Wach-Kontrollbedingung. Es zeigte sich jedoch bezogen auf die Vergessensrate der Wörter erwartungsgemäß kein Unterschied zwischen Tagschlaf und Entspannungshypnose. Diese Beobachtung kann entsprechend der Interferenzhypothese so erklärt werden, dass sowohl durch den Tagschlaf als auch durch die tiefe Entspannung, die durch die Entspannungshypnose erzielt wurde, ein Schutz vor den die Gedächtniskonsolidierung störenden äußeren Reizen erzielt wurde. Der Organismus war während des circa halbstündigen Treatments Schlaf oder Entspannungshypnose vor potentiell interferierenden Informationen soweit geschützt, dass eine optimierte Konsolidierung der gelernten deklarativen Inhalte erfolgen konnte. Wachheit mit einfacher nonverbaler Beschäftigung (Computerspiele) übte hingegen interferierenden Einfluss aus und störte so die Gedächtniskonsolidierung.

Bezogen auf die prozedurale Lernaufgabe war der Lernzuwachs vom sofortigen zum verzögerten Abruf bei allen Probanden gleichsam sehr groß. Beim Spiegelzeichnen konnte bei keinem Parameter ein bedeutsamer Unterschied zwischen den Gruppen gezeigt werden. Ursächlich hierfür könnte beispielweise die Tatsache sein, dass nur eine, möglicherweise zu einfache Figur (Stern) als Gedächtnismaterial eingesetzt wurde. Backhaus und Junghanns (2006), die einen förderlichen Einfluss eines Tagschafs auf eine Spiegelzeichenaufgabe fanden, verwendeten sechs verschiedene, deutlich komplexere Figuren. Zudem haben in Tagschlafstudien, die einen Schlaf-Effekt für prozedurale Aufgaben gefunden haben, die Probanden länger geschlafen und so, anders als im vorliegenden Experiment, auch das Schlafstadium REM erreicht. Einige empirische Befunde (Plihal & Born, 1997; Plihal et al., 1999) weisen darauf hin, dass REM-Schlaf essentiell für eine schlafabhängige Verbesserung bei prozeduralen Aufgaben sei. Da die Teilnehmer in der Schlafgruppe im aktuellen Experiment jedoch durchschnittlich nur etwa 26

Minuten schliefen und fast ausschließlich die leichten Schlafstadien 1 und 2 erreichten, trat bei keiner Person REM-Schlaf auf. Möglicherweise liegt darin die Ursache für die fehlende erwartete Überlegenheit der Tagschlafgruppe im Vergleich zur Wach-Kontrollgruppe.

1.8. Experiment 2: Vergleich der deklarativen Gedächtnisleistung einer Tagschlafgruppe sowie einer aktiven und passiven Wachgruppe

Die Frage, wie eine Wach-Kontrollgruppe während des Retentionsintervalls beschäftigt wird, wurde in verschiedenen Experimenten sehr unterschiedlich gelöst. Während in einigen Studien die Probanden das Labor verlassen durften und nicht kontrolliert wurde, welcher Tätigkeit sie nachgingen (z.B. Talamini, Nieuwenhuis, Takashima & Jensen, 2008), lasen andere zur Verfügung gestellte oder selbst mitgebrachte Bücher (Hockey et al., 1972), hörten Musik (Gais et al., 2000) oder schauten Filme oder Dokumentationen (Backhaus & Junghanns, 2006). Bereits Skaggs (1925) wies auf die Schwierigkeit hin, eine ideale ruhige Wach-Vergleichsbedingung für eine Schlafgruppe zu finden: „...it is extremely difficult to secure many ‘ideal’ rest intervals – ideal in the sense that the subject was mentally passive and indifferent and entirely away from the original learning material“ (S. 32-33).

Im vorliegenden Experiment sollte in Anlehnung an die Experimente von Gottselig et al. (2004), Mednick et al. (2009) sowie Rieth et al. (2010) die Interferenzhypothese als passiver Ansatz zum Einfluss des Schlafes auf die Gedächtniskonsolidierung überprüft werden, indem neben einer Schlafgruppe und

einer herkömmlichen aktiven Wach-Kontrollgruppe eine passive Wachgruppe eingesetzt wurde. In den im Vorangegangenen beschriebenen Experimenten wurde die passive Wachbedingung recht unterschiedlich operationalisiert. So hörten die Probanden der passiven Wachbedingung bei Rieth et al. (2010) klassische Instrumentalmusik, während sie bei Gottselig et al. (2004) wach im Bett liegen mussten.

Im aktuell beschriebenen Experiment wurde die Leistung in einer verbalen und nonverbalen deklarativen Lernaufgabe zwischen einer aktiven Wach-Kontrollgruppe, einer Tagschlafgruppe sowie einer passiven Wachgruppe verglichen. Entsprechend den Voraussagen der Interferenzhypothese und im Einklang mit den Ergebnissen der Experimente von Rieth et al. (2010) sowie Gottselig et al. (2004) wurde erwartet, dass sich Tagschlaf- und passive Wachbedingung nicht bezüglich ihrer Gedächtnisleistung unterscheiden würden. Beide Gruppen erfuhren ein vergleichbar geringes Maß an Interferenz und unterschieden sich nur im Hinblick auf das Auftreten von Schlaf. Im Vergleich zur aktiven Wach-Kontrollgruppe wurde erwartet, dass beide interferenzarmen Experimentalbedingungen (passiv wach und Tagschlaf) eine bessere verbale und nonverbale Gedächtnisleistung aufweisen würden.

60 deutschsprachige Probanden lernten als verbale deklarative Gedächtnisaufgabe eine aus 30 Adjektiven bestehende Wortliste. Diese wurde mit Equiword generiert (Version 1.2; Lahl & Pietrowsky, 2006b) und für zwei Minuten zum Lernen vorgelegt. Das Verhältnis zwischen initialer Lernleistung (sofortiger Abruf) und verzögertem Abruf stellt die Vergessensrate dar. Als nonverbale deklarative Aufgabe wurde die Stadtplanaufgabe des LGT 3, Version B (Bäumler, 1974) gewählt. Die Probanden hatten eine Minute Zeit, sich einen eingezeichneten Weg in einem stilisierten Stadtplan (ohne Straßenbezeichnungen) einzuprägen. Für jeden korrekt eingezeichneten Wegpunkt wurde ein Punkt vergeben (max. 31 Punkte möglich). Die Reihenfolge der Aufgaben wurde randomisiert. Anschließend an die Lernphase

wurden die Teilnehmer randomisiert einer der drei Gruppen zugewiesen: aktiv wach ($n = 20$), passiv wach ($n = 20$) oder Tagschlaf ($n = 20$). Allen Probanden wurden gleichermaßen zuvor Elektroden zur polysomnographischen Messung nach AASM (2007) appliziert: EEG: F3 – F4, C3 – C4, O1 – O2 mit Referenzen an den Mastoiden M1 & M2; bipolar EOG; EMG am Musculus submentalis. Während des gesamten Retentionsintervalls wurde anhand eines portablen Polygraphen bei allen Probanden ein Polygramm aufgezeichnet, welches online überwacht und später offline durch unabhängige Rater entsprechend den Kriterien der AASM (Iber et al., 2007) ausgewertet wurde.

Probanden der aktiven Wachbedingung verblieben für das gesamte 70-minütige Retentionsintervall im Labor und spielten einfache nonverbale Computerspiele. Teilnehmer der passiven Wachbedingung legten sich in einem schallisolierten abgedunkelten Raum ins Bett und sollten versuchen, wach zu bleiben. Aufgrund der online-EEG-Überwachung war es möglich, bei einer Reduktion der Alpha-Aktivität und/oder dem Auftreten langsamer rollender Augenbewegungen die Person anzurufen, um sie ggf. sofort aufzuwecken bzw. am Einschlafen zu hindern. Versuchsteilnehmer in der Tagschlafbedingung legten sich ebenfalls in einem schallisolierten abgedunkelten Raum ins Bett und versuchten einzuschlafen.

Es zeigten sich keine Gruppenunterschiede bei der initialen Lernleistung im sofortigen Abruf bei der verbalen ($F_{2,57} = 0.27$, $p = .77$) oder nonverbalen deklarativen Aufgabe ($F_{2,57} = 1.65$, $p = .20$). Im verzögerten Abruf zeigte sich bei der Wortliste bei allen Probanden gleichermaßen ein deutliches Vergessen, wobei sich die Gruppen hinsichtlich der Vergessensrate nicht signifikant unterschieden ($F_{2,57} = 1.22$, $p = .30$). In Bezug auf die nonverbale Stadtplanaufgabe konnten ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede hinsichtlich der beim verzögerten Abruf im Verhältnis zum sofortigen Abruf erzielten Punkte festgestellt werden ($F_{2,57} = 1.87$, $p =$

.16). Die Anzahl der im Mittel erinnerten Adjektive bzw. erzielten Punkte im Stadtplantest im direkten sowie verzögerten Abruf sind für alle Gruppen in Abbildung 2 respektive 3 dargestellt.

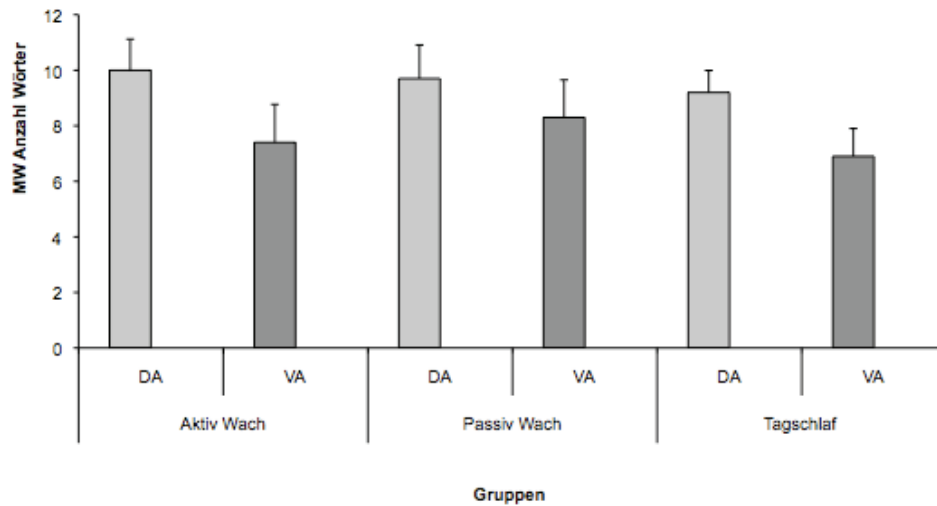


Abbildung 2: Dargestellt sind die von der Tagschlafgruppe, aktiven sowie passiven Wachgruppe im direkten (DA) und verzögerten Abruf (VA) erinnerten Adjektive (MW $\pm$ Standardmessfehler).

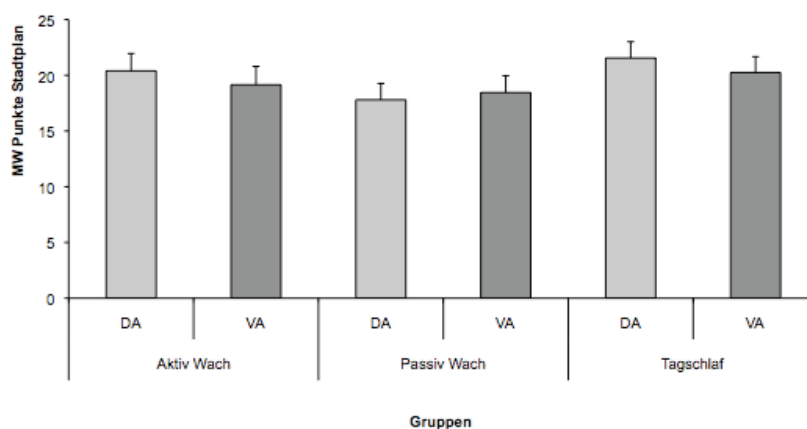


Abbildung 3: Dargestellt sind die von der Tagschlafgruppe, aktiven sowie passiven Wachgruppe im direkten (DA) und verzögerten Abruf (VA) erzielten Punkte in der Stadtplanaufgabe (MW $\pm$ Standardmessfehler).

Es fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen bezogen auf ihre verbale oder nonverbale deklarative Gedächtnisleistung. Im Einklang mit den Voraussagen der Interferenzhypothese schnitten die passive Wachbedingung und die Tagschlafgruppe sowohl bei der Wortlernaufgabe als auch beim Stadtplanlernen gleichrangig ab. Dies entspricht den Ergebnissen, die Gottselig et al. (2004) für eine auditorische Wortsequenzaufgabe und Rieth et al. (2010) bei einer prozeduralen Pursuit-Rotor-Task fanden. Während jedoch im erstgenannten Experiment Tagschlaf- und passive Wachbedingung einer aktiven Wachbedingung überlegen waren, war dies in der vorliegenden Studie überraschenderweise nicht der Fall. Die Forschergruppe um Rieth (2010) hatte keine aktive Wach-Vergleichsgruppe eingesetzt, daher können keine Aussagen in Bezug auf diesen Vergleich gemacht werden.

Mednick et al. (2009) verglichen die Leistung einer Tagschlaf-, Nachtschlaf-, ruhigen Wach- sowie aktiven Wachbedingung bei einer impliziten visuellen Lernaufgabe. Sie fanden bei dieser Aufgabe keinen förderlichen Einfluss des 90-minütigen Tagschlafs oder des 6,5-stündigen Nachtschlafs, da sich beide Schlafgruppen nicht von den Wachgruppen unterschieden. Die Teilnehmer aller vier Gruppen zeigten äquivalente Leistungen bei dieser impliziten assoziativen Gedächtnisaufgabe, die ebenso wie die im vorliegenden Experiment verwendeten deklarativen Aufgaben abhängig von Strukturen des medialen Temporallappens ist.

Dieses Ergebnis deckt sich mit denen der hier berichteten Studie und deutet darauf hin, dass ein kurzer Tagschlaf möglicherweise doch nicht die entscheidende Rolle für die Gedächtniskonsolidierung hippocampusabhängiger Lernaufgaben spielt. Backhaus und Junghanns (2006) fanden ebenfalls keinen förderlichen Einfluss eines Tagschlafs auf deklarative Lernaufgaben, wobei an dieser Stelle auch darauf

hingewiesen werden muss, dass dieser Effekt in einer Reihe von Experimenten (z.B. Lahl et al. 2008; Tucker et al. 2006) gezeigt werden konnte. Der Einfluss von Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung wird durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst (Diekelmann et al., 2009), wie beispielsweise die Art des Lernmaterials (deklarativ vs. prozedural; neutral vs. emotional), Aufgabenschwierigkeit, Art des Lernens und Abrufs (Kriteriumslernen, implizite vs. explizite Enkodierung; freier vs. hinweisreizgestützter Abruf vs. Wiedererkennen). Es ist durchaus vorstellbar, dass diese vielen den Schlaf-Effekt modulierenden Faktoren ausschlaggebend für die divergenten Befunde verschiedener Studien ist. Nichtsdestotrotz zeigen die Befunde des vorliegenden Experiments, wie bedeutsam die Wahl einer geeigneten Wach-Kontrollgruppe bzw. die Wahl einer adäquaten Beschäftigung der Probanden der Wach-Vergleichsgruppe ist.

1.9 Experiment 3: Der Einfluss sofortigen und verzögerten Tagschlafs auf die deklarative Gedächtnisleistung

Üblicherweise lernen in Experimenten zum Einfluss von Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung die Probanden die entsprechenden Gedächtnisaufgaben unmittelbar bevor sie sich zum Schlafen ins Bett begeben (bzw. in der Wach-Kontrollbedingung wach bleiben). Dieses Vorgehen erfolgt in der Regel aus Gründen der Praktikabilität. Die Frage, ob Schlaf direkt auf das Lernen folgen muss, um optimal wirksam zu sein, oder ob auch ein gewisser zeitlicher Abstand zwischen Lernen und Schlafbeginn liegen kann, sollte im vorliegenden Experiment geklärt werden. Zur Beantwortung dieser eher methodischen Fragestellung wurden die Gedächtnisleistungen in einer

Reihe deklarativer Lernaufgaben zwischen einer Wachgruppe, einer Tagschlafgruppe, die sofort nach dem Lernen schlafen durfte (sofortiger Tagschlaf) sowie einer Tagschlafgruppe, die erst mit einiger zeitlicher Verzögerung schlafen durfte (verzögerter Tagschlaf), verglichen. Erwartet wurde, einen Schlaf-Effekt zu finden, das heißt, beide Tagschlafgruppen sollten der Wach-Kontrollgruppe überlegen sein. Aufgrund der sehr heterogenen Forschungslage zum Einfluss von sofortigem versus verzögertem Tagschlaf (Doyon et al., 2009 vs. Alger, Lau & Fishbein, 2010) wurde erwartet, dass sich die Erinnerungsleistungen der beiden Tagschlafbedingungen voneinander unterscheiden würden, wobei a priori keine Aussage zur Richtung dieses Unterschieds gemacht wurde.

Zu Untersuchungsbeginn wurden bei 49 deutschsprachigen Versuchsteilnehmern Elektroden zur Messung der EEG-, EOG- und EMG-Aktivität an folgenden, der Standard-Polysomnographie nach Rechtschaffen und Kales (1968) entsprechenden, Positionen angebracht: C3/M2, C4/M1, bilateral EOG, Kinn-EMG am Musculus submentalis. Anschließend lernten die Versuchspersonen insgesamt sieben deklarative Lernaufgaben: sechs Subtests des Lern- und Gedächtnistest LGT 3, Version A (Bäumler, 1974) sowie eine mit Equiword (Version 1.2; Lahl & Pietrowsky, 2006b) erstellte Wortliste mit 30 Adjektiven. Die LGT 3 Subtests gliedern sich in drei verbale Untertests (Türkisch, Telefonnummern, Bibliotheksbau), zwei nonverbale Untertests (Stadtplan, Firmenzeichen), sowie einen Test mit verbalen und nonverbalen Anteilen (Objekte). Nach der Lernphase erfolgte ein sofortiger Abruf, danach wurden die Probanden randomisiert einer der Versuchsbedingungen zugeordnet: Wach-Kontrollbedingung (n = 16), sofortiger Tagschlaf (n = 16) sowie verzögerter Tagschlaf (n = 17). Der Lernphase und dem sofortigen Abruf schloss sich ein dreistündiges Retentionsintervall an, in dem die Probanden der Wach-Kontrollbedingung im Labor verblieben und aus verschiedenen animierten Filmen ohne

Sprache wählen konnten. Probanden der sofortigen Tagschlafgruppe begaben sich direkt nach dem sofortigen Abruf ins Bett und sollten versuchen einzuschlafen. Nach 60 Minuten wurden sie geweckt und schauten für die verbleibenden zwei Stunden des Retentionsintervalls die gleichen nonverbalen Trickfilme, wie die Wachgruppe. Versuchsteilnehmer der verzögerten Tagschlafbedingung schauten im Anschluss an Lernen und sofortigen Abruf für etwa zwei Stunden die Animationsfilme. Anschließend legten sie sich für die verbleibende Stunde ins Bett, um zu versuchen, zu schlafen. Drei Stunden nach dem sofortigen Abruf erfolgte ein verzögerter Abruf.

Um festzustellen, ob die 33 Probanden der beiden Tagschlafgruppen geschlafen haben, wurden die aufgezeichneten Polygramme offline von zwei unabhängigen, für die jeweilige Bedingung blinden, Ratern entsprechend der Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) ausgewertet.

Im verzögerten Abruf ergab sich beim Vergleich der drei Gruppen ein signifikanter Gruppenunterschied beim Subtest Bibliotheksbau ($F_{2,46} = 3.12$, $p = .05$). Post-hoc-Vergleiche mittels T-Test zeigten eine signifikante Überlegenheit der sofortigen Tagschlafgruppe im Vergleich zur Wachgruppe in den Subtests Türkisch ($t = 1.71$, $p = .05$), Bibliotheksbau ($t = 2.25$, $p = .02$) sowie bei der Adjektivwortliste ($t = 1.91$, $p = .03$). Es fanden sich jedoch keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Wach-Kontrollgruppe und der verzögerten Tagschlafgruppe. Der Vergleich der beiden Tagschlafgruppen ergab sich eine bessere Leistung der sofortigen im Vergleich zur verzögerten Schlafbedingung in den Subtests Stadtplan ($t = 2.49$, $p = .02$) sowie Türkisch ($t = 2.09$, $p = .05$). In Abbildung 4 sind die im Mittel erreichten Punkte bei allen Subtests im verzögerten Abruf dargestellt.

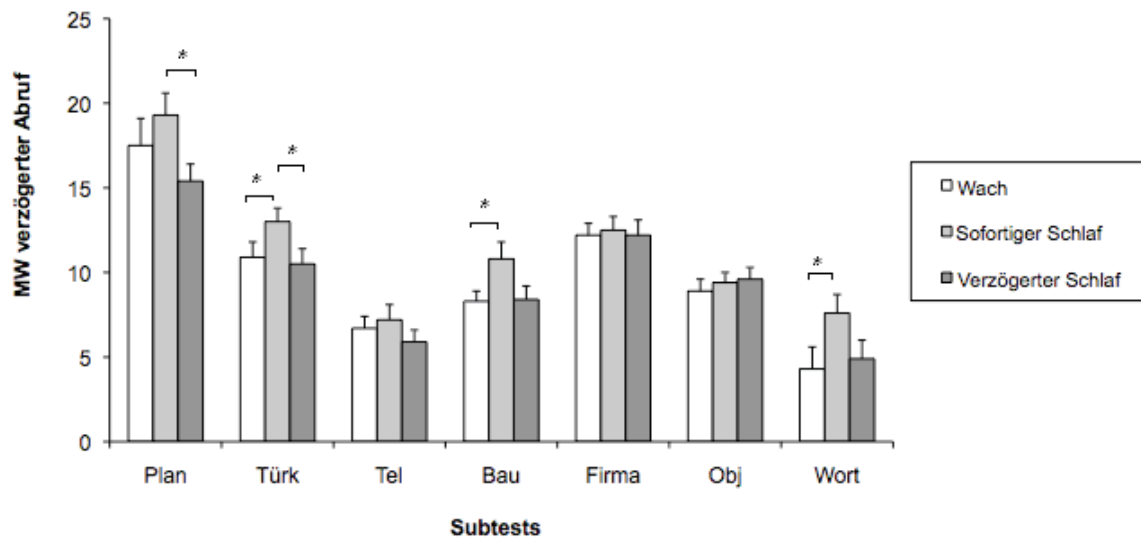


Abbildung 4: Mittelwerte und Standardmessfehler der Gedächtnisleistungen in den Subtests im verzögerten Abruf (VA).

Plan = Stadtplan, Türk = Türkisch, Tel = Telefonnummern, Bau = Bibliotheksbau, Firma = Firmenzeichen, Obj = Objekte, Wort = Adjektivwortliste

Beim Vergleich einer Wach-Kontrollgruppe mit sofortigen sowie verzögerten Tagschlafbedingungen ergaben sich gemischte Ergebnisse. Die Annahme der Überlegenheit der sofortigen Tagschlafgruppe gegenüber der Wachgruppe wurde in drei verbalen von insgesamt sieben Subtests bestätigt. Entgegen den Erwartungen zeigte sich jedoch keine bessere Gedächtniskonsolidierung in der verzögerten Schlafgruppe im Vergleich zur Wachgruppe. Die beiden Tagschlafbedingungen unterschieden sich in zwei der sieben Untertests signifikant voneinander: beim nonverbalen Test „Stadtplan“ sowie der verbalen Aufgabe „Türkisch“ waren die Probanden, die sofort nach dem Lernen schliefen denen überlegen, bei denen gut zwei Stunden zwischen Lernen und verzögertem Abruf lagen. Da für die sofortige Schlafgruppe ein Schlaf-Gedächtnis-Effekt zumindest bei einigen der Aufgaben gezeigt werden konnte, deutet dieses Ergebnismuster darauf hin, dass Schlaf tatsächlich der Gedächtniskonsolidierung eher förderlich ist, wenn er in einem sehr

kurzen zeitlichen Abstand oder direkt dem Lernen folgt. Dieses Ergebnis entspricht dem, was andere Autoren (Benson & Feinberg, 1977; Gais et al., 2006; Talamini et al. 2008) anhand von Nachtschlafstudien zeigen konnten und was Doyon et al. (2009) in einem Tagschlafexperiment nachwies: eine sich dem Lernen unmittelbar anschließende Schlafperiode ist einer Schlafbedingung überlegen, in der zwischen Lernen und Schlaf eine längere Phase der Wachaktivität liegt.

Für die zukünftige Forschung ist es bedeutsam, den Einfluss des Zeitfensters zwischen Lernen und Schlafbeginn als potentiellen den Schlaf-Effekt beeinflussen Faktor zu berücksichtigen. Möglicherweise gibt es für deklaratives Lernmaterial, ebenso wie es für prozedurale Aufgaben proklamiert wird (Stickgold et al., 2000), ein bestimmtes Zeitfenster, in dem Schlaf auftreten muss, um sich positiv auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung auswirken zu können. Aus methodischen Gesichtspunkten erscheint es überaus zentral, die Lern-, Treatment- und Abrufzeiträume für die Wach-Schlaf-Vergleichsgruppen so auszuwählen, dass für alle Teilnehmer eine äquivalente Zeitperiode zwischen Lern- und Abrufdurchgang sowie dem Beginn der Schlaf- oder Wachperiode liegt.

2. Diskussion

Bezüglich der eingangs aufgeworfenen Fragestellung, welche Rolle Tagschlaf für die Gedächtniskonsolidierung spielt, können die durch die Verfasserin durchgeführten Experimente keine eindeutige Aufklärung liefern. Hinsichtlich des Einflusses von Tagschlaf auf die Konsolidierung prozeduraler Lerninhalte (Experiment 1) wurde kein förderlicher Einfluss gefunden. Diese Beobachtung deckt sich mit denen anderer

Forscherguppen, die ebenfalls keinen Hinweis auf eine optimierte prozedurale Gedächtniskonsolidierung durch Tagschlafepisoden fanden (Mednick, Cai, Kanady & Drummond, 2008; Milner, Fogel & Cote, 2006; Rieth et al., 2010; Tucker et al., 2006). Bemerkenswert ist hierbei besonders die Studie von Milner et al. (2006), in der ein differentieller Einfluss der Tagschlafgewohnheiten auf die moderierende Funktion des Tagschlafs für die prozedurale Gedächtniskonsolidierung gefunden wurde. Ein förderlicher Einfluss des Schlafes konnte nur bei habituellen Tagschläfern gefunden werden. Bei Teilnehmern, die nicht gewohnheitsmäßig Mittagsschlaf hielten, wurde dieser Effekt nicht beobachtet. In dem in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Experiment 1 waren die Mehrzahl der Probanden ebenfalls nicht-habituelle Tagschläfer. Dies könnte eine mögliche Erklärung dafür sein, dass in Experiment 1 der erwartete Tagschlaf-Effekt für die prozedurale Spiegelzeichenaufgabe nicht gefunden wurde, wie es in anderen Studien der Fall war (Backhaus & Junghanns, 2006; Doyon et al. 2009; Korman et al., 2007). Weiterhin scheint für die prozedurale Konsolidierung das Auftreten der REM-Schlafphase von entscheidender Bedeutung zu sein (Plihal & Born, 1997). Die Probanden der Tagschlafbedingung in Experiment 1 erreichten einheitlich aufgrund der kurzen Dauer des Nickerchens nicht das Stadium REM.

In Bezug auf die Frage nach der Optimierung der deklarativen Gedächtniskonsolidierung durch Tagschlaf ergaben die Experimente 1 – 3 gemischte Ergebnisse. In Experiment 1 wurde ein förderlicher Einfluss von Tagschlaf auf die Gedächtnisleistung bei einer verbalen deklarativen Aufgabe (Wortlistenlernen) im Vergleich zu einer Wachbedingung gefunden. In Experiment 3 waren Probanden der Gruppe, die sofort nach dem Lernen schlafen durften, bei drei verbalen deklarativen Aufgaben (Wortliste, Türkisch, Bibliotheksbau) der Wach-Kontrollgruppe überlegen. In Experiment 2 fand sich hingegen keine verbesserte Gedächtniskonsolidierung in

einer verbalen (Wortliste) sowie einer nonverbalen (Stadtplan) deklarativen Lernaufgabe bei der Tagschlafgruppe im Vergleich zur Wachbedingung.

Da in allen drei Experimenten die gleiche verbale deklarative Wortlistenlernaufgabe eingesetzt wurde, ermöglicht dies einen explorativen Vergleich der Leistung bei dieser Aufgabe zwischen den Tagschlafgruppen und Wachbedingungen aller drei Experimente. Hierbei werden die Vergessensrate der Tagschlaf- und Wachgruppe des ersten Experiments, Tagschlaf- und aktiven Wachgruppe des zweiten Experiments sowie der sofortigen Tagschlaf- und Wachgruppe des dritten Experiments verglichen. Es ergibt sich eine Stichprobe von insgesamt 104 Teilnehmern aufgeteilt in Tagschlafbedingung ($n = 53$) und Wachbedingung ($n = 51$). Deskriptiv zeigt sich eine Überlegenheit der Probanden in den Schlafgruppen. Sie vergaßen deutlich weniger Adjektive, als die Teilnehmer der Wachbedingungen. Dieser Unterschied wurde allerdings nicht statistisch signifikant ($T = 1.45$, $p = .08$).

Im Hinblick auf die Rolle von Tagschlaf für die Gedächtniskonsolidierung weisen die Ergebnisse der drei durchgeführten Studien zusammenfassend nicht eindeutig auf einen stabilen förderlichen Einfluss eines kurzen Schlafes am Tag auf Gedächtnisprozesse hin. Es muss an dieser Stelle jedoch betont werden, dass dies keineswegs als Beweis dafür angesehen werden kann, dass Tagschlaf keine Rolle bei der Optimierung der Gedächtniskonsolidierung spielt. Zudem soll und kann durch diese Ergebnisse der so oft replizierte gedächtniskonsolidierende Einfluss von Nachtschlaf (siehe Walker, 2009) nicht in Frage gestellt werden. Vielmehr zeigen die durchgeführten Studien erneut, dass es eine enorme Zahl an Faktoren gibt, welche sich moderierend auf die Einflussnahme des Schlafs auf Gedächtnisprozesse auswirken (für eine Übersicht siehe Diekelmann et al., 2009).

Die vorliegende Arbeit hatte zudem das Ziel zu untersuchen, ob der passive Ansatz der Interferenzhypothese den Schlaf-Gedächtnis-Effekt erklären kann. Hierzu

wurden in Experiment 1 und 2 eine Tagschlafbedingung neben einer Wach-Kontrollbedingung mit jeweils einer weiteren interferenzarmen Gruppe verglichen (Experiment 1: Entspannungshypnose; Experiment 2: passive Wachheit). Im Ergebnis zeigte sich zusammenfassend, dass sich die Gedächtnisleistung der Probanden in den jeweiligen interferenzarmen Bedingungen nicht voneinander unterschieden. Das heißt, dass Tagschlaf im gleichen Ausmaß wie Entspannungshypnose oder ruhiges Wachliegen im Bett entsprechende Gedächtnisprozesse beeinflusst. Diese Beobachtung bestätigt die Annahmen der Interferenzhypothese, die vorhersagt, dass auch andere Zustände, welche den Organismus vor Interferenz schützen, sich ebenso wie Schlaf auf die Gedächtniskonsolidierung auswirken sollten. Allerdings muss an dieser Stelle auf einen entscheidende Aspekt hingewiesen werden: während in Experiment 1 beide interferenzarmen Bedingungen (Tagschlaf und Entspannungshypnose) der Wachbedingungen überlegen waren und so also der Schlaf-Gedächtnis-Effekt gezeigt werden konnte, waren in Experiment 2 nicht nur die Leistung beider interferenzarmer Bedingungen (Tagschlaf und passive Wachheit) gleich, sondern deren Leistung unterschied sich auch nicht von der aktiven Wachbedingung. Es wurde demnach kein Schlaf-Gedächtnis-Effekt gefunden.

Dieses Ergebnismuster lässt sich nur schwer im Rahmen einer übergeordneten Theorie wie der Interferenzhypothese deuten. Die Ergebnisse unterstützen aber eher die Interferenzhypothese, als dass sie dieser widersprechen, da einheitlich in Experiment 1 und 2 kein differentieller Einfluss zweier unterschiedlicher interferenzarmer Zustände neben Schlaf gefunden wurde. Daher kann man schlussfolgern, dass nicht nur Schlaf das Gedächtnis passiv vor neu eintreffenden Reizen abschirmt und so bereits enkodiertes Material vor Interferenz schützt, sondern dies

auch scheinbar durch andere Zustände zu erreichen ist, welche so gedächtniskonsolidierende Prozesse beeinflussen können.

In Experiment 3 wurde der Einfluss des Zeitpunktes der Abschirmung gegen potentiell interferierende Reize durch Tagschlaf untersucht. Hierzu wurden neben einer Wachkontrollgruppe zwei Tagschlafbedingungen betrachtet: eine sofortige sowie eine verzögerte Tagschlafbedingung. Es zeigte sich wie erwartet bei einigen verbalen deklarativen Gedächtnisaufgaben ein Schlaf-Gedächtnis-Effekt, allerdings nur bei Probanden, die sofort nach dem Lernen schlafen durften. Versuchsteilnehmer in der verzögerten Schlafgruppe, bei denen zwischen Lernen und Tagschlaf zwei Stunden Wachheit lagen, waren der Wach-Kontrollgruppe bei keiner der Aufgaben überlegen. Beim Vergleich der beiden Schlafbedingungen war die Gedächtnisleistung der sofortigen Schlafgruppe zumindest bei einigen Aufgaben besser, als die der verzögerten Tagschlafgruppe. Dieses Ergebnismuster deutet darauf hin, dass der Zeitpunkt des Schlafens nach dem Lernen durchaus entscheidend für das Auftreten des Schlaf-Effekts zu sein scheint. Betrachtet man dieses Ergebnis im Rahmen der Diskussion um einen passiven oder aktiven Beitrag des Schlafs zur Gedächtniskonsolidierung, so unterstützt der Befund eher den passiven Ansatz der Interferenzhypothese. Die Probanden in beiden Tagschlafbedingungen erreichten die gleiche Menge an Schlaf mit den gleichen Schlafphasen. Daher würde man unter Annahme einer aktiven Rolle des Schlafs keinen Unterschied zwischen beiden Schlafbedingungen erwarten sowie weiterhin keinen Unterschied bezüglich des Schlaf-Effekts. Beide Schlafgruppen müssten gleichermaßen der Wach-Kontrollbedingung überlegen sein. Dies war jedoch im vorliegenden Experiment nicht der Fall, da nur die sofortige Tagschlafgruppe besser als die Wachprobanden war, nicht aber die verzögerte Tagschlafgruppe. Wenn man von einem aktiven Beitrag z.B. einer bestimmten Schlafphase zur Gedächtniskonsolidierung ausgeht, erscheint es

wenig plausibel, warum der Zeitpunkt des Eintretens dieser Phasen von entscheidender Bedeutung sein sollte. Im Rahmen der Interferenzhypothese ist es hingegen durchaus vorstellbar, dass eine sofortige Abschirmung gegenüber interferierenden Stimuli sich positiver auf die Gedächtniskonsolidierung auswirkt, als wenn nach dem Lernen erst noch für einige Stunden weiterhin interferierende Reize auf den Organismus einströmen und von ihm verarbeitet werden.

Zusammengenommen sprechen die Ergebnisse der Experimente 1 bis 3 eher für das Zutreffen der Interferenzhypothese und somit für einen passiven Beitrag von Schlaf zur Gedächtniskonsolidierung. Obwohl in der vorliegenden Arbeit der positive Einfluss von Tagschlaf auf die Gedächtniskonsolidierung nicht für prozedurale Inhalte (Experiment 1) und nur teilweise für deklaratives Lernmaterial (Experiment 1 und 3) gezeigt wurde, darf man dies nicht als Beweis dafür ansehen, dass Tagschlaf keine Rolle für die Gedächtniskonsolidierung zu spielen scheint. Vielmehr gibt es eine Reihe von Faktoren, welche den vermittelnden Einfluss von Tagschlaf auf Gedächtnisprozesse zu beeinflussen scheinen, und die in zukünftigen Studien Berücksichtigung finden sollten.

3. Ausblick

Die Ergebnisse der in der vorliegenden Arbeit berichteten Studien geben Hinweise darauf, dass Tagschlaf eine Funktion für Gedächtnisprozesse wie die Konsolidierung zuvor enkodierter Inhalte haben kann. Dieser Einfluss ist anscheinend aufgabentypabhängig. Weiterhin fanden sich Hinweise auf ein kritisches Zeitfenster für den förderlichen Einfluss des Tagschlafs. Entsprechend den Beobachtungen scheint die Rolle des Schlafes für die Gedächtniskonsolidierung eher passiv als aktiv zu sein,

wobei weitere empirische Bestätigungen notwendig sind. Für die zukünftige Forschung auf dem Gebiet des Schlaf-Gedächtnis-Effekts ist es von zentraler Bedeutung, eine adäquate Wach-Vergleichsgruppe zu wählen. Um aus dem Vergleich der Gedächtnisleistungen einer Schlaf- und einer Wachbedingung entsprechende Schlüsse ziehen zu können, müssen diese auch tatsächlich vergleichbar sein. Lern- und Abrufdurchgänge zu unterschiedlichen Tageszeiten sollten ebenso vermieden werden, wie unterschiedlich lange Retentionsintervalle. Von zentraler Bedeutung ist die Beschäftigung, welcher die Probanden der Wach-Kontrollbedingung während der Wachheit ausgesetzt sind. Es ist naheliegend, dass man die Teilnehmer nicht mehrere Stunden nichts tun lassen kann, die Aktivitäten sollten jedoch vorgegeben und sorgsam ausgewählt werden. Oftmals findet man in einer Forschergruppe die Neigung zu einer bestimmten Wachbeschäftigungsart vor, die sich in allen Experimenten zum Schlaf-Effekt findet. Man sollte sich jedoch bewusst sein, dass die Möglichkeit systematischer Verzerrungen und Beobachtungsfehler aufgrund eben dieser Wachbeschäftigung besteht.

Zur Klärung der Frage, ob Schlaf einen aktiven oder passiven Beitrag zur Gedächtniskonsolidierung leistet, sind weitere Experimente notwendig, welche Schlaf anderen interferenzarmen Zuständen gegenüberstellen. Vorstellbar wäre ein Vergleich zwischen den Gedächtnisleistungen einer Schlafgruppe mit einer Gruppe von Probanden, welche selbstinduzierte Entspannungstechniken wie Autogenes Training oder Meditation beherrschen. Eine genauere Analyse und ein Vergleich der EEG-Daten der interferenzarmen Bedingungen würde zudem möglicherweise weitere Erkenntnisse bezüglich der hirnelektrischen Vorgänge während dieser Zustände erbringen.

Zur Überprüfung der Annahme eines kritischen Zeitfensters für das Auftreten des Schlafes nach dem Lernen für die optimierte Gedächtniskonsolidierung ist ein

umfassenderes Tagschlafdesign mit einem stark gestuften Tagschlaf-Zeitplan wünschenswert. Es sollten, neben der obligaten Wach-Kontrollgruppe, mehrere Tagschlafgruppen miteinander verglichen werden, die beispielsweise sofort nach dem Lernen, nach 30 Minuten, 60 Minuten, 120 Minuten, 240 Minuten und 480 Minuten schlafen dürfen. So ließe sich ein Zeitrahmen eingrenzen, in dem Schlaf optimalerweise dem Lernen folgen muss, um bestmöglich wirksam zu sein.

4. Zusammenfassende Thesen

- Nimmt man eine fundamentale funktionelle Bedeutung des Schlafes für Gedächtnisprozesse an, so sollte sich auch nach kurzen Schlafepisoden am Tag der förderliche Einfluss des Schlafes auf das Gedächtnis zeigen.
- In drei vorgestellten Experimenten wurde der Einfluss maximal einstündiger Tagschlafepisoden auf die Konsolidierung einer Reihe von deklarativen sowie prozeduralen Gedächtnisaufgaben überprüft. Dabei wurde besonders der Aspekt betrachtet, ob Schlaf eine aktive oder passive Rolle bei der Gedächtniskonsolidierung einnimmt.
- Im Einzelnen wurde untersucht, ob Schlaf per se sich förderlich auf die Konsolidierung auswirkt, oder andere interferenzarme Zustände, wie Entspannungshypnose (Experiment 1) oder ruhiges passives Wachliegen (Experiment 2) diesen Effekt ebenso bewirken können. Weiterhin wurde geprüft, ob der Schlaf-Effekt zeitabhängig vermittelt wird und Schlaf sofort auf das Lernen folgen muss, um wirksam zu sein (Experiment 3).
- Entsprechend den Annahmen der Interferenzhypothese wurde erwartet, dass zwei interferenzarme Zustände ebenso der Gedächtniskonsolidierung

förderlich seien, wie es Tagschlaf ist (Experiment 1 und 2). Somit sollte sowohl Tagschlaf, wie auch Entspannungshypnose oder passives Wachliegen im Bett einer Wachperiode überlegen sein. Zudem waren keine Unterschiede zwischen den interferenzarmen Zuständen (Schlaf, Entspannungshypnose, passives Wachen) zu erwarten. Außerdem wurde erwartet, dass Schlaf gegenüber Wachheit immer zu einer besseren Gedächtnisleistung führen würde, unabhängig davon, ob er sofort oder verzögert dem Lernen folgt (Experiment 3).

- Die gefundenen Ergebnisse zeigen eine vergleichbare deklarative und prozedurale Gedächtnisleistung nach Schlaf, wie nach Entspannungshypnose oder passiver Wachheit (Experiment 1 und 2). Dies entspricht den Annahmen der Interferenzhypothese. Es zeigte sich kein Schlaf-Gedächtnis-Effekt bei einer prozeduralen Lernaufgabe. Weiterhin waren beide interferenzarmen Zustände (Tagschlaf und passive Wachheit) in Experiment 2 nicht der aktiven Wach-Kontrollbedingung überlegen. Der Schlaf-Gedächtnis-Effekt wurde in Experiment 3 bei einigen deklarativen Lernaufgaben beobachtet, sofern der Tagschlaf direkt dem Lernen folgte. Probanden, die sofort im Anschluss an das Lernen schliefen, waren zudem Probanden in der verzögerten Tagschlafgruppe bei einigen Lernaufgaben überlegen.
- Die Ergebnisse sprechen eher für einen passiven Beitrag des Schlafes für die Gedächtniskonsolidierung und sind im Sinne der Interferenzhypothese interpretierbar.
- Als Fazit ist zu sagen, dass eine Rolle von Schlaf für Gedächtnisprozesse oder neuronale Plastizität im Allgemeinen oft und in vielen Formen propagiert wurde. Wir sind jedoch immer noch weit davon entfernt, Einigkeit darüber zu

finden, welche Rolle dies sein könnte und warum sie primär durch Schlaf erfüllt werden sollte.

5. Quellenverzeichnis

- Alger, S. E., Lau, H. & Fishbein, W. (2010). Delayed onset of a daytime nap facilitates retention of declarative memory. *Public Library of Sciences online*, 5, e12131.
- Anderer, P., Gruber, G., Klösch, G., Klimesch, W., Saletu, B. & Zeitlhofer, J. (2002). Sleep and Memory Consolidation: The Role of Electrophysiological Neuroimaging. *Somnologie*, 6, 54-62.
- Axmacher, N., Haupt, S., Fernández, G., Elger, C. E. & Fell, J. (2008). The role of sleep in declarative memory consolidation – Direct evidence by intracranial EEG. *Cerebral Cortex*, 18, 500-507.
- Backhaus, J., Hoeckesfeld, R., Born, J., Hohagen, F. & Junghanns, K. (2008). Immediate as well as delayed post learning sleep but not wakefulness enhances declarative memory consolidation in children. *Neurobiology of Learning and Memory*, 89, 76-80.
- Backhaus, J. & Junghanns, K. (2006). Daytime naps improve procedural motor memory. *Sleep Medicine*, 7, 508-512.
- Bäumler, G. (1974). *Lern- und Gedächtnistest LGT 3*. Göttingen: Verlag für Psychologie Hogrefe.
- Barrett, T. R. & Ekstrand, B. E. (1972). Effect of sleep on memory: Controlling for time-of-day effects. *Journal of Experimental Psychology*, 96, 321-327.
- Benson, K. & Feinberg, I. (1975). Sleep and Memory: Retention 8 and 24 hours after initial learning. *Psychophysiology*, 12, 192-195.
- Benson, K. & Feinberg, I. (1977). The beneficial effect of sleep in an extended Jenkins and Dallenbach paradigm. *Psychophysiology*, 14, 375-384.

- Blake, M. J. F. (1967). Time of day effects on performance in a range of tasks. *Psychonomic Science*, 9, 349-350.
- Bökmann, M. (2002). *Mit den Augen eines Tigers 2 – Tiefenentspannung nach Milton H. Erickson*. [CD]. Heidelberg: Carl-Auer Verlag.
- Born, J. (2010). Slow-wave sleep and the consolidation of long-term memory. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 11, 16-21.
- Born, J. & Plihal, W. (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51, 198-208.
- Born, J., Rasch, B. & Gais, S. (2006). Sleep to Remember. *The Neuroscientist*, 12, 410-424.
- Broughton, R. J. (1983). The siesta: Social or biological phenomenon? *Sleep Research*, 4, 193-218.
- Broughton, R.J. (1989). Chronobiological Aspects and Models of Sleep and Napping. In D. F. Dinges & R. J. Broughton (Hrsg.), *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping* (S. 71-97). New York: Raven Press.
- Buckner, R. L. & Koutstaal, W. (1998). Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 891-898.
- Buzsáki, G. (1998). Memory consolidation during sleep. *Journal of Sleep Research*, 7, 17-23.
- Cai, Z. (1995). An integrative analysis to sleep functions. *Behavioural Brain Research*, 69, 187-194.

- Caskardon, M. A. & Dement, W. C. (1989). Normal Human Sleep: An Overview. In M. H. Kryger, T. Roth & W. C. Dement (Hrsg.), *Principles and practice of sleep medicine* (S. 3-13). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Curcio, G., Ferrara, M. & De Gennaro, L. (2006). Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Medicine Reviews*, 10, 323-337.
- Dahl, A. (1928). Über den Einfluß des Schlafens auf das Wiedererkennen. *Psychologische Forschung*, 11, 290-301.
- Diekelmann, S. & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 114-126.
- Diekelmann, S., Wilhelm, I. & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, 13, 309-321.
- Doyon, J., Korman, M., Morin, A., Dostie, V., Tahar, A. H., Benali, H. et al. (2009). Contribution of night and day sleep vs. simple passage of time to the consolidation of motor sequence and visuomotor adaption learning. *Experimental Brain Research*, 195, 15-26.
- Ebbinghaus, H. (1885, 1966). Über das Gedächtnis. Amsterdam: E.J. Bonset (Originalausgabe: Leipzig, Duncker & Humblot, 1885).
- Ellenbogen, J. M., Hulbert, J. C., Stickgold, R., Dinges, D. F. & Thompson-Schill, S. L. (2006a). Interfering with theories of sleep and memory: Sleep, declarative memory, and associative interference. *Current Biology*, 16, 1290-1294.
- Ellenbogen, J. M., Payne, J. D. & Stickgold, R. (2006b). The role of sleep in declarative memory consolidation: passive, permissive, active or none? *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 716-722.
- Espana, R. A. & Scammell, T. E. (2004). Sleep Neurobiology for the Clinician. *Sleep*, 27, 811-820.

- Fogel, S. M., Smith, C. T. & Cote, K.A. (2007). Dissociable learning-dependent changes in REM and non-REM sleep in declarative and procedural memory systems. *Behavioural Brain Research*, 180, 48-61.
- Gais, S. & Born, J. (2004). Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 2140-2144.
- Gais, S. Lucas, B. & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, 13, 259-262.
- Gais, S., Mölle, M., Helms, K. & Born, J. (2002). Learning-dependent increases in sleep spindle density. *The Journal of Neuroscience*, 22, 6830-6834.
- Gais, S., Plihal, W. Wagner, U. & Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nature Neuroscience*, 3, 1335-1339.
- Giuditta, A., Ambrosini, M. V., Montagnese, P., Mandile, P., Cotugno, M., Zucconi, G. & Vescia, S. (1995). The sequential hypothesis of the function of sleep. *Behavioural Brain Research*, 69, 157-166.
- Gómez, R. L., Bootzin, R. R. & Nadel, L. (2006). Naps promote abstraction in language-learning infants. *Psychological Science*, 17, 670-674.
- Gorfine, T., Yeshurun, Y. & Zisapel, N. (2007). Nap and melatonin-induced changes in hippocampal activation and their role in verbal memory consolidation. *Journal of Pineal Research*, 43, 336-342.
- Gottselig, J. M., Hofer-Tinguely, G., Borbély, A. A., Regel, S. J., Landolt, H.-P., Retey, J. V. et al. (2004). Sleep and rest facilitate auditory learning. *Neuroscience*, 127, 557-561.
- Hasselmo, M. E. (1999). Neuromodulation: acetylcholine and memory consolidation. *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 351-359.

- Hobson, J. A. & Pace-Schott, E. F. (2002). The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nature Reviews*, 3, 679-693.
- Hockey, G. R. H., Davies S. & Gray, M. M. (1972). Forgetting as a function of sleep at different times of day. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 24, 386-393.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R. & Dement, W. C. (1973). Quantification of Sleepiness: a new approach. *Psychophysiology*, 10, 431-436.
- Huber, R., Ghilardi, M. F., Massimini, M. & Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, 430, 78-81.
- Iber, C., Ancoli-Israel, S., Chesson, A. L. & Quan, S. F. für die American Academy of Sleep Medicine. (2007). *Das AASM-Manual zum Scoring von Schlaf und assoziierten Ereignissen: Regeln, Terminologie und technische Spezifikationen*. Darmstadt: Steinkopff.
- Inoué, S., Honda, K. & Komoda, Y. (1995). Sleep as neuronal detoxification and restitution. *Behavioural Brain Research*, 69, 91-96.
- Jasper, H. A. (1958). The ten-twenty system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jenkins, J. G. & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *American Journal of Psychology*, 35, 605-612.
- Korman, M., Doyon, J., Doljansky, J., Carrier, J. Dagan, Y. & Karni, A. (2007). Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nature Neuroscience*, 10, 1206-1213.
- Lahl, O. & Pietrowsky, R. (2006a). Does the „Sleep Effect“ on Memory Depend on Sleep or on Night Time? *Sleep and Hypnosis*, 8, 61-70.

- Lahl, O. & Pietrowsky, R. (2006b). Equiword: A software application for the automatic creation of truly equivalent word lists. *Behaviour Research Methods*, 38, 146-152.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B. & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, 17, 3-10.
- Lau, H., Tucker, M. A. & Fishbein, W. (2010). Daytime napping: Effects on human direct associative and relational memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 93, 554-560.
- Laureys, S., Peigneux, P., Phillips, C., Fuchs, S., Degueldre, C., Aerts, J. et al. (2001). Experience-dependent changes in cerebral functional connectivity during human rapid eye movement sleep. *Neuroscience*, 105, 521-525.
- Maquet, P. (1995). Sleep function(s) and cerebral metabolism. *Behavioural Brain Research*, 69, 75-83.
- Maquet, P., Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C. et al. (2000). Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nature Neuroscience*, 3, 381-386.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory – a Century of Consolidation. *Science*, 287, 248-251.
- Mednick, S. C., Cai, D. J., Kanady, J. & Drummond, S. P. A. (2008). Comparing the benefits of caffeine, naps and placebo on verbal, motor and perceptual memory. *Behavioural Brain Research*, 193, 79-86.
- Mednick, S. C., Makovski, T., Cai, D. J. & Jiang, Y. V. (2009). Sleep and rest facilitate implicit memory in a visual search task. *Vision Research*, 49, 2557-2565.

- Mednick, S., Nakayama, K. & Stickgold, R. (2003). Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nature Neuroscience*, 6, 697-698.
- Milner, C. E., Fogel, S. M. & Cote, K. A. (2006). Habitual napping moderates motor performance improvements following a short daytime nap. *Biological Psychology*, 73, 141-156.
- Nesca, M. & Koulack, D. (1994). Recognition memory, sleep and circadian rhythms. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, 359-379.
- Ohayon, M. M. & Zulley, J. (1999). Prevalence of Naps in the General Population. *Sleep and Hypnosis*, 1, 88-97.
- Pace-Schott, E. F. & Hobson, J. A. (2002). The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks. *Nature Reviews*, 3, 591-605.
- Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Collette, F., Perrin, F., Reggers, J. et al. (2004). Are spatial memories strengthened in the human hippocampus during slow wave sleep? *Neuron*, 44, 535-545.
- Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 534-547.
- Plihal, W., Pietrowsky, R. & Born, J. (1999). Dexamethasone blocks sleep induced improvement of declarative memory. *Psychoneuroendocrinology*, 24, 313-331.
- Rauch, G., Bertran, F., Guillery-Girard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N. Denise, P. et al. (2004). Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep. *Sleep*, 27, 395-401.
- Rechtschaffen, A. (1998). Current perspectives on the function of sleep. *Perspectives in Biology and Medicine*, 41, 359-390.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. (Hrsg.). (1968). *Ein Manual der standardisierten Terminologie, Techniken und Auswertung der Schlafstadien beim Menschen*. Landsberg: Ecomed.

- Rieth, C. A., Cai, D. J., McDevitt, E. A. & Mednick, S. C. (2010). The role of sleep and practice in implicit and explicit motor learning. *Behavioural Brain Research*, 214, 470-474.
- Saper, C. B., Scammell, T. E. & Lu, J. (2005). Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms. *Nature*, 437, 1257-1263.
- Schabus, M., Gruber, G., Parapatics, S., Sauter, C., Klösch, G. Anderer, P. et al. (2004). Sleep Spindles and their significance for declarative memory consolidation. *Sleep*, 27, 1479-1485.
- Seynowski, T. J. & Destexhe, A. (2000). Why do we sleep? *Brain Research*, 886, 208-223.
- Siegel, J. M. (2001). The REM Sleep-Memory Consolidation Hypothesis. *Science*, 294, 1058-1063.
- Siegel, J. M. (2004). Brain mechanisms that control sleep and waking. *Naturwissenschaften*, 91, 355-365.
- Siegel, J. M. (2005). Clues to the functions of mammalian sleep. *Nature*, 437, 1264-1271.
- Siegel, J. M. (2009). Sleep viewed as a state of adaptive inactivity. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 747-753.
- Skaggs, E. B. (1925). Further studies in retroactive inhibition. *Psychological Monographs*, 161, 1-60.
- Smith, C. (1995). Sleep states and memory processes. *Behavioural Brain Research*, 69, 137-145.
- Smith, C. T., Nixon, M. R. & Nader, R. S. (2004). Posttraining increases in REM sleep intensity implicate REM sleep in memory processing and provide a biological marker of learning potential. *Learning & Memory*, 11, 714-719.
- Squire, L. R. (1987). *Memory and Brain*. Oxford: Oxford University Press.

- Squire, L. R. & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and non-declarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93, 13515-13522.
- Staedt, J. & Stoppe, G. (2001). Evolution und Funktion des Schlafes. *Fortschritte der Neurologie Psychiatrie*, 69, 51-57.
- Stickgold, R., James, L. & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*, 2, 1237-1238.
- Stickgold, R. & Walker, M. P. (2005). Memory consolidation and reconsolidation: what is the role of sleep? *Trends in Neuroscience*, 28, 408-415.
- Stickgold, R., Whidbee, D., Schirmer, B., Patel, V. & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 246-254.
- Talamini, L. M., Nieuwenhuis, I. L. C., Takashima, A. & Jensen, O. (2008). Sleep directly following learning benefits consolidation of spatial associative memory. *Learning & Memory*, 15, 233-237.
- Tilley, A. & Warren, P. (1983). Retrieval from semantic memory at different times of day. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 718-724.
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader, A. & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 86, 241-247.
- Tucker, M. A. & Fishbein, W. (2009). The impact of sleep duration and subject intelligence on declarative and motor memory performance: how much is enough? *Journal of Sleep Research*, 18, 304-312.

- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385-398.
- Vertes, R. P. (2004). Memory Consolidation in Sleep: Dream or Reality. *Neuron*, 44, 135-148.
- Vertes, R. P. & Siegel, J. M. (2005). Time for the sleep community to take a critical look at the purported role of sleep in memory processing. *Sleep*, 28, 1228-1229.
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427, 352-355.
- Walker, M. P. (2009). The Role of Sleep in Cognition and Emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 168-197.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J.A. & Stickgold, R. (2003). Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, 425, 616-620.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J.A. & Stickgold, R. (2002). Practice with sleep makes perfect: Sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35, 205-211.
- Walker, M. P. & Stickgold, R. (2004). Sleep-Dependent Learning and Memory Consolidation. *Neuron*, 44, 121-133.
- Walker, M. P. & Stickgold, R. (2006). Sleep, Memory, and Plasticity. *Annual Review of Psychology*, 57, 139-166.
- Wilson, M. A. & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265, 676-682.
- Wixted, J. T. (2004). The Psychology and Neuroscience of Forgetting. *Annual Review of Psychology*, 55, 235-269.
- Zimmermann, P & Fimm, B. (1993). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitstestung (TAP)*. Würselen: Psytest.

6. Einzelarbeiten

Schichl, M., Ziberi, M., Lahl, O. & Pietrowsky, R.: The Influence of Midday Naps and Relaxation-Hypnosis on Declarative and Procedural Memory Performance

Eingereicht am 26.10.2010 beim Journal of Sleep Research

Schichl, M., Janssen, S. & Pietrowsky, R.: The Sleep-Memory-Effect: Testing the Interference-Hypothesis by comparing Memory Performance after a Midday Nap and after Active and Restful Waking

Eingereicht am 06.12.2010 beim Journal of Psychophysiology

Schichl, M., Matthies, J. & Pietrowsky, R.: The Sleep-Memory-Effect: The Influence of Immediate versus Delayed Nap Onset on Declarative Memory

Eingereicht am 12.04.2011 bei Sleep and Biological Rhythms

The Influence of Midday Naps and Relaxation-Hypnosis on Declarative and Procedural Memory Performance

Melanie Schichl, Melanie Ziberi, Olaf Lahl, Reinhard Pietrowsky

Dept. of Clinical Psychology, University of Düsseldorf

Running Head: Hypnosis and the sleep-memory-effect

Address for correspondence:

Melanie Schichl

University of Düsseldorf

Dept. of Clinical Psychology

Universitätsstr. 1

40225 Düsseldorf

Tel.: *49-211-8112140

Fax: *49-211-8114261

E-Mail: melanie.schichl@hhu.de

Total number of words: 4528

number of references: 27

Summary:

The sleep enhancing effect on memory (sleep-memory-effect) is well documented for night-time sleep as well as for midday naps. Several reasons may account for this effect. One may be a diminished interference during sleep which may support an undisturbed memory consolidation. To test this hypothesis, memory performance was compared after a midday nap, after relaxation-hypnosis, inducing also a state of low interference, and after wakefulness. Subjects had to perform a declarative memory task (word-list learning) and a procedural memory task (mirror-tracing). Results indicate that declarative memory was better following the midday naps or relaxation-hypnosis compared to wakefulness, respectively. No differences were observed between both low interference conditions (sleeping, hypnosis). Procedural memory was not affected by the kind of treatment. The results support the interference-hypothesis for declarative memory, indicating, that a state of reduced interfering mental activity may account for the sleep-memory-effect.

Key words: sleep, memory, sleep-memory-effect, hypnosis, declarative memory, procedural memory

Introduction:

There are a number of different theories why humans are sleeping ranging from energy conservation to brain detoxification (see Rechtschaffen, 1998). For the last 15 years a growing number of studies examined memory consolidation as one possible function of human sleep. Memory consolidation is a process of reactivation and incorporation of afore labile memory traces into a more permanent form embedded in long-term-memory (Peigneux et al., 2001).

Early findings (Jenkins and Dallenbach, 1924) already showed a diminished forgetting rate for nonsense syllables after intervals of sleep compared to intervals of wakefulness. The authors concluded “that forgetting is not so much a matter of the decay of old impressions and associations as it is a matter of interference, inhibition, or obliteration of the old by the new.” (p. 612). By now there is near consensus that sleep improves human memory performance when compared to periods of wakefulness. Many studies have shown this quite robust effect called the sleep-memory-effect (see Rasch & Born, 2008 for references). The vast majority of these experiments compared a whole night of sleep with an equivalent interval of wakefulness using different memory tasks. The sleep-memory-effect was demonstrated for declarative memory tasks (e.g. Gais et al., 2006) as well as for procedural memory material (e.g. Plihal & Born, 1997; Walker et al., 2002).

Because studies using a night-sleep-paradigm are confounded by factors such as a difference in alertness level, circadian factors or the level of cortisol, in the last years there is a growing interest in daytime-napping-studies. During daytime naps the alertness-level shows a significantly lower variation. In addition, researchers can take advantage of the post-lunch-dip – a time frame of heightened sleep propensity

in the early afternoon (Broughton, 1989). Daytime napping is quite common and monophasic sleep patterns, which most western adults adopt, seem to be a concession to sociocultural demands and the working life. Bi- and polyphasic sleep patterns can be found in early infancy and after retirement, as well in countries with a warm climate (e.g. Siesta in Spain) (Broughton, 1989).

Studies using a daytime-napping-paradigm with comparatively short sleep duration were able to show a beneficial effect of sleep for different memory-tasks. For example, Backhaus and Junghanns (2006) found an improvement in procedural motor memory (a mirror-tracing task), but not in declarative memory performance (paired association and face association learning) following a daytime nap. In contrast to this study, Tucker et al. (2006) showed greater improvement of the nap-group compared to the waking-group in a declarative paired association task, but not in procedural mirror tracing. Lahl et al. (2008) found a superior memory performance for a declarative memory task, namely a 30-item wordlist, after napping when compared to waking activity. In a second experiment they could show, that even an ultra short nap of only six minutes duration is sufficient to boost declarative memory performance beyond waking control levels.

There are different explanations for the sleep-memory-effect (Maquet, 2001). One of the possible explanations is that sleep protects the organism against the encoding of new interfering material (see Jenkins & Dallenbach, 1924; Wixted, 2004) This so-called interference-hypothesis states that sleep serves as a shield to protect already encoded material or memory that is under consolidation from retroactive interference (Rasch & Born, 2008). On the other hand, subjects who are awake during a retention interval are engaged in relatively high amounts of interference encountering all kinds of new experiences which may result in a weak or impaired consolidation of a specific memory trace (Coenen & van Luitelaar, 1997).

To test the interference-hypothesis Gottselig et al. (2004) examined the performance in an auditory tone perception task and compared three conditions with different levels of interference: a nap-group, a restful waking- and a busy waking-group. While the napping-group had to stay in bed for 2 hours trying to sleep, the restful waking-group was instructed to lie in bed and relax without falling asleep. The busy waking-group had to watch an educational film for the same time period. While the nap- and the restful waking-group showed a significant improvement from the pre-treatment session to the post-treatment session, no improvement was found for the busy waking-group. Although the nap-group was slightly superior compared to the restful waking-group, this difference did not reach statistical significance. Gottselig et al. interpreted their results based on the interference-hypothesis stating, that the reduction of sensory input was crucial for the advantage of both, sleep- and restful waking-group, over the busy waking-group.

Hypnosis is a state with a considerable reduction of interference. The Division 30 (Society of Psychological Hypnosis of the American Psychological Association, 2005) defines hypnosis as a procedure wherein changes in perception, sensation, emotion, thoughts or behavior are induced. Some researchers state that hypnosis in addition has effects on memory, but to date empiric data regarding the relationship between hypnosis and memory remains inconsistent.

Up to today there is still no consent whether sleep as a distinct physiological state facilitates memory consolidation per se, or whether sleep solely shields the brain from potentially interfering stimuli and thus enhances memory consolidation (Rieth et al., 2010). In the latter case, the interference-hypothesis of sleep postulates an improved memory in other mental states of low interference, for example during hypnosis. The aim of the present study was to compare two different conditions with little interference, namely mid-day napping and relaxation-hypnosis, regarding their

influence on declarative and procedural memory. It was predicted, that both of these conditions are superior with regard to memory recall when compared with a waking control group.

Methods

Subjects

Fifty-one native German-speaking participants (42 female, 9 male) aged between 18-34 years were recruited for the study. They were nonsmokers which had neither a history of psychiatric nor neurological diseases, nor did they take any psychotropic drugs. They reported no sleeping problems for the last four weeks prior to the testing session. The subjects were randomly assigned to a waking-, napping- or relaxation-hypnosis-group. A total of four participants had to be excluded, due to the inability to fall asleep when assigned to the napping-group ($n = 2$), because of technical problems ($n = 1$) or for falling asleep in the relaxation-hypnosis-group ($n = 1$). The mean age of the remaining sample ($n = 47$) was 23.5 years ($SD = 4.3$). There was no significant age-difference between the participants of the three groups ($F_{2,44} = 0.96$, $p = .39$). 15 subjects remained in the waking-group, 17 in the napping- and 15 in the relaxation-hypnosis-group. The subjects gave written informed consent. They received a financial compensation.

Materials

To test declarative memory the subjects had to memorize a list of 30 unrelated auditory presented adjectives (wordlist generated with the software EquiWord 1.2; Lahl & Pietrowsky, 2006). The adjectives were presented four times in randomized order via PC with an interstimulus interval of 1000 ms. Prior to treatment (sleep,

hypnosis, wakefulness) an immediate free recall was used to determine the baseline memory performance. The subjects were asked to name as many of the previously learned words as possible independent of order. Subjects were informed, that after the treatment a delayed free recall would be carried out.

For the assessment of procedural memory a mirror-tracing task was applied. The subjects had to move a photosensitive stylus along the black line of a given design, which they only could see in a mirror. First, a training session took place in which a square had to be traced; the actual test-outline thereafter was a star. The drawing time per outline, the number of errors and the error time (time spent off the black line) were detected. Equivalent to the test for declarative memory an immediate recall prior to and a delayed recall after the treatment were conducted.

Procedure

At the day of testing the subjects were not allowed to consume caffeine or alcohol. They were instructed to eat a light meal before testing, which took place between 13:30 and 15:30 p.m. Upon arriving at the sleep laboratory, EEG-, EOG- and EMG-electrodes were applied for standard electrophysiological sleep parameters. Afterwards all subjects learned the wordlist followed by the immediate free recall of the adjectives. Subsequently the mirror tracing training- and test-sessions took place. The group-assignment took place after the immediate recall of the mirror-tracing task.

After learning and recall the waking-group had to sit quietly for 10 minutes with their eyes open while EEG-recording was undertaken. This was done to enhance the comparability to the napping-group in which the subjects may rehearse under resting conditions before falling asleep. After the EEG-recording, the electrodes were removed and the subjects spent the remaining time playing simple nonverbal computer-games. The napping-group had to lie down after learning and recall, trying

to fall asleep. During this time polysomnographic recording took place. After 50 minutes in bed the subjects were awakened and the electrodes were removed. The purpose of this was to let sleep inertia wear off during the 10 minutes needed for removal of the electrodes (Hofer-Tinguely et al. 2005) and to make sure that the subjects were fully awake and alert at the time of delayed recall. In the relaxation-hypnosis-group subjects had to sit down in a comfortable position while listening to a relaxation-hypnosis-CD with closed eyes. During the whole time EEG was recorded. After approximately 35 minutes electrodes were removed and subjects played simple nonverbal PC-games for the remaining time of the retention-interval. Sixty minutes after the immediate recall the delayed free recall as well as the mirror-tracing-task were performed. Additionally the group that underwent the relaxation-hypnosis completed a questionnaire about their relaxation experience.

Hypnosis

To assure maximal standardization, the relaxation-hypnosis was presented by CD. Used was a recording according to the hypnosis developed by Milton H. Erickson for the therapeutic setting (Böckmann, 2002). After an introduction-hypnosis there were no further suggestions until the trance was resolved. With this kind of hypnosis no specific goals are being pursued, it rather serves for general relaxation and activation of resources. The presentation lasted for about 35 minutes. To assess the subjective relaxation experience subjects had to fill in a questionnaire regarding their feeling prior, during and after the relaxation-hypnosis.

Polysomnographic-recording

Standard electrophysiological sleep parameters were recorded (EEG: C3, C4 referenced to mastoids; bipolar EOG and EMG) using a portable polysomnographic

device (SleepScreen by Viasys Healthcare). Two independent judges blind to the experimental condition scored the sleep records in 30-second epochs according to the standardized criteria of Rechtschaffen and Kales (1968). Relevant sleep parameters were sleep-onset latency (SOL), total sleep time (TST) and amount of time spend in sleep stages S1, S2, S3 or REM sleep.

Statistical analysis

Differences between the napping-, waking- and hypnosis-groups were analyzed by oneway analysis of variance (ANOVA) with the grouping factor Treatment (napping, hypnosis, waking). Post- hoc comparisons were made with independent samples t-Tests. The significance level was set at .05. For assessment of declarative memory performance (wordlist) the forgetting rate was calculated as an absolute recall measure (i.e. the number of words forgotten over the retention interval). For assessment of the procedural memory performance (mirror-tracing task) the error count (number of errors, i.e.: how often subjects were off the black line), speed (in ms) as well as error-time (total time spent off the black line during delayed recall) were calculated. Correlation analyses were performed between sleep-onset latency and memory performance and between total sleep time and performance at the Delayed Recall.

Results

The sleep parameters of the napping-group are shown in Table 1. As can be seen the subjects needed on average 17 minutes to fall asleep and slept for 26 minutes. Sleep was dominated by the lighter sleep stages S1 and S2, none of the subjects reached the slow-wave sleep stage S3 or REM sleep.

- Insert Table 1 about here -

The assessment of the subjective relaxation via questionnaire self-rating showed that the subjects of the relaxation-hypnosis-group felt considerably relaxed during and after the relaxation hypnosis. The EEG-recording showed a similar activation pattern as could be seen in the waking-group mainly consisting of alpha activity. No theta waves were recorded.

There was no baseline difference between the three groups regarding declarative or procedural memory performance (Wordlist: $F_{2,44} = 0.92$, $p = .41$; Mirrortracing error count: $F_{2,44} = 1.61$, $p = .21$; speed: $F_{2,44} = 0.08$, $p = .93$), suggesting that differences in delayed recall are not attributable to differences in initial learning. The mean number of words given at delayed recall (without intrusions) is displayed in Table 2. As can be seen, the napping-group performed better than the hypnosis-group (napping: $M = 15.29$, $SD = 7.58$ vs. hypnosis: $M = 14.60$, $SD = 5.08$), and these two conditions led to better recall than waking (wake: $M = 12.60$, $SD = 8.02$). The difference between delayed and immediate recall represents the forgetting rate. As shown in Table 2, relaxation-hypnosis led to a slight hypermnesic effect, whereas waking clearly led to forgetting (see relative memory performance).

- Insert Table 2 about here -

There was a highly significant difference in the forgetting rate between the three groups ($F_{2,44} = 6.83$, $p = .003$). Post-hoc T-Tests revealed a significant difference between wake- and napping-group (forgetting rate: $t = 2.70$, $p = .011$) and between

wake- and hypnosis-group likewise (forgetting rate: $t = 3.34$, $p = .002$). However, there was no significant difference between the napping- and the hypnosis-group (forgetting rate: $t = -0.84$, $p = .41$; see Fig. 1).

- Insert Figure 1 about here -

In the mirror-tracing task the performance of the hypnosis-group was better than that of the waking-group, which in turn was better than that of the napping-group.

However, this difference did not reach statistical significance (error count: $F_{2,44} = 1.89$, $p = .16$; speed: $F_{2,44} = 0.27$, $p = .77$; error-time: $F_{2,44} = 0.50$, $p = .61$).

Measures of accuracy (error count), speed and the error-time are displayed in Table 3.

- Insert Table 3 about here -

Bivariate correlation analyses revealed no significant correlation between sleep onset latency and declarative memory performance (forgetting rate: $r = .34$, $p = .18$) or between total sleep time and performance at the delayed recall (forgetting rate: $r = .04$, $p = .88$).

Discussion

The purpose of the present study was to test the effect of interference on declarative and procedural memory consolidation. Therefore, two conditions with little interference (napping and relaxation-hypnosis) and one condition with more interference (wakefulness) were compared. It was expected, that napping as well as

relaxation-hypnosis would lead to better memory consolidation, expressed by a better performance in the declarative and procedural task, than a comparable time spent awake.

In the declarative memory task, napping as well as hypnosis led to better recall than waking, whilst there was no significant difference between these two groups. As predicted by the interference-hypothesis both groups, in which sensory input was reduced, were superior compared to a waking-group, which may have had interference during memory consolidation from the mental activity during waking, e.g. from playing computer-games on a PC. Although we tried to reduce this potential interference in the waking-group, it is likely, that the ongoing mental stimulation and activity during wakefulness might have posed as an interference and thus impaired the consolidation of the previously learned material.

This result is in line with Gottselig et al. (2004), who compared performance in an auditory learning task in subjects, who were assigned to a napping-, a restful waking- or a busy waking-group. While both, the sleep- and restful waking-groups showed significant improvements from baseline to post-treatment session, the busy waking group did not. In Gottselig's experiment subjects slept on average 77 minutes and reached slow-wave sleep as well as REM sleep, while our subject had an average sleep-duration of 26 minutes and only reached the lighter sleeping stages S1 and S2. There are a number of studies showing the importance of slow-wave sleep (e.g. Gais & Born, 2004) or slow-wave sleep and REM-sleep (Mednick et al., 2003) for the post-sleep-improvement in a declarative memory task. Thus, one would expect comparable results in the present study for subjects of the napping-group and the relaxation-group, since both groups did not have slow-wave sleep or REM-sleep during the consolidation interval. Another reason for the similarity of memory performance in the napping and hypnosis conditions in this experiment could be, that

hypnosis represents a distinct physiological state, that is comparable to light sleep in regards to different measures of brain arousal. However all of the subjects in the relaxation-hypnosis group were inexperienced regarding hypnosis, did not engage in any kind of relaxation technique (as for example meditation or autogenic training) and did not show any signs of deep trance during the relaxation-hypnosis (for example EEG theta waves). Rather their EEG was comparable to that of the waking-group showing mainly alpha activity. Taken together, this would not indicate that the subjects of the relaxation-hypnosis-group were in a special state comparable to that of the napping-group, but instead it was more likely comparable to that of the waking-group.

The lack of significant differences among the three groups in the mirror-tracing task remains unclear. While some studies with midday naps found memory-improving effects on procedural tasks (Backhaus & Junghanns, 2006) others did not (Tucker et al., 2006). There is evidence that procedural memory consolidation does mainly depend on REM-sleep (Plihal & Born, 1997; Plihal et al., 1999). Since neither participants in the napping condition nor those in the relaxation-condition did show any signs of REM-sleep activity it is not surprising that measures of procedural memory were not affected in the present experiment.

A possible confounding factor, that could influence at least the declarative memory performance, is the amount of intended rehearsal. Subjects in every sleep-condition naturally need some time to fall asleep. This sleep onset latency could be used for deliberate rehearsal of the material learned afore, given, that the subjects know of the later recall. In contrast, subjects in a wake condition immediately start with whatever activity they shall engage in, therefore do not have the chance to rehearse. For this reason, in the present study it was decided to ask subjects of the waking-group to quietly sit for 10 minutes giving them the same opportunity to

rehearse. The 10 minutes timeframe was chosen, because in a previous napping-experiment in our laboratory (Lahl et al., 2008) subjects needed on average 11 minutes to reach S1. Because of this procedure it can be assumed that rehearsal-effects are not responsible for the observed superiority of the present napping-group over the waking-group. However, the subjects of the relaxation-hypnosis-group did not have time for potential rehearsal, because they started immediately with the presentation of the relaxation-instructions by CD.

A further factor that may contribute to memory consolidation and interference is the kind of activity or task, the subjects in the wake control group engage in during the retention interval. Different researchers used several approaches to occupy their wake controls: In some studies the subjects are allowed to leave the laboratory during the retention interval, enabling them to do whatever they like (e.g. Talamini et al., 2008), some stay in the room, reading their own or provided books/ magazines (Hockey et al., 1972), listening to music (Gais et al., 2000; Rieth, et al., 2010) or watching movies/ documentaries (Backhaus & Junghanns, 2006; Gais et al., 2006). All these different activities are the source of more or less interference and can that way account for the observed advantage of the sleep-group over the wake-group. In the present work the subjects who were asked to stay awake were occupied with simple nonverbal computer-games like Tetris or Pacman. These were chosen to provide as little interference as possible while entertaining enough to prevent boredom during the 60 minute retention interval. For future research it would be interesting to compare a sleep-group with waking-conditions that differ regarding their amount of interference. For instance one could compare a conventional wake-group, that is engaged in some activities, with another wake-group, that is asked to stay awake while lying in bed in a darkened sound-proof room with eyes closed. The latter group would that way experience exactly the same conditions as a sleep-group, just

without the actual occurrence of sleep. Of course it has to be ensured, that the subjects of this wake-group do not fall asleep, which can be achieved through online polysomnographic surveillance.

In sum, the present study could show beneficial effects of a midday-nap for declarative memory performance, but not for a procedural task. Moreover these positive effects were demonstrated for relaxation-hypnosis, a sleep-independent state of equally little interference as well. These findings support the interference-hypothesis of the sleep-memory-effect and do not support the role of sleep per se as the pivotal factor for improved memory consolidation. However, this interpretation should be regarded with caution and seems to hold only for declarative, but not for procedural memory, because it is still unclear, whether a longer sleep-duration containing slow wave or REM sleep would have boosted the memory performance of the napping-group beyond that of the relaxation-hypnosis-group. Furthermore, it remains to be tested whether the effect of the relaxation-hypnosis condition used in the present study could be replicated using another form of deep relaxation like meditation, autogenic training or progressive muscle relaxation.

References

- Backhaus, J. and Junghanns, K. Daytime naps improve procedural motor memory. *Sleep Med. Rev.* 2006, 7: 508-512.
- Böckmann, M. (2002). *Mit den Augen eines Tigers 2 – Tiefenentspannung nach Milton H. Erickson*. [CD]. Heidelberg: Carl-Auer Verlag.
- Broughton, R. J. Chronobiological aspects and models of sleep and napping. In D. F. Dinges and R. J. Broughton (eds.) *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping*. Raven Press, New York, 1989.
- Coenen, A. M. I. and van Luijckelaar, E. L. J. M. Effects of benzodiazepines, sleep and sleep deprivation on vigilance and memory. *Acta Neurol. Belg.*, 1997, 97: 123-129.
- Gais, S. and Born, J. Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2004, 101: 2140-2144.
- Gais, S., Lucas, B. and Born, J. Sleep after learning aids memory recall. *Learn. Mem.*, 2006, 13: 259-262.
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U. and Born, J. Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat. Neurosci.*, 2000, 3: 1335-1339.
- Gottselig, J. M., Hofer-Tinguely, G., Borbély, A. A et al. Sleep and rest facilitate auditory learning. *Neuroscience*, 2004, 127: 557-561.
- Hockey, G. R. J., Davies, S. and Gray, M. M. Forgetting as a function of sleep at different times of day. *Q. J. Exp. Psychol.*, 1972, 24: 386-393.
- Hofer-Tinguely, G., Achermann, P., Landolt, H.-P. et al. Sleep inertia: performance changes after sleep, rest and active waking. *Cogn. Brain Res.*, 2005, 22: 323-331.

- Jenkins, J. G. and Dallenbach, K. M. Obliviscence during sleep and waking. *Am. J. Psychol.*, 1924, 35: 605-612
- Lahl, O. and Pietrowsky, R. EQUIWORD: A software application for the automatic creation of truly equivalent word lists. *Behav. Res. Methods*, 2006, 38: 146-152.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B. and Pietrowsky, R. An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *J. Sleep Res.*, 2008, 17: 3-10.
- Maquet, P. The role of sleep in learning and memory. *Science*, 2001, 294: 1048-1051.
- Mednick, S., Nakayama, K. and Stickgold, R. Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nat. Neurosci.*, 2003, 6: 697-698.
- Peigneux, P., Laureys, S., Delbeuck, X. and Maquet, P. Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*, 2001, 12: A111-A124.
- Plihal, W. and Born, J. Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J. Cogn. Neurosci.*, 1997, 9: 543-547.
- Plihal, W., Pietrowsky R. and Born, J. Dexamethasone blocks sleep induced improvement of declarative memory. *Psychoneuroendocrinology*, 1999, 24: 313-331.
- Rasch, B. and Born, J. Reactivation and consolidation of memory during sleep. *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, 2008, 17: 188-192.
- Rechtschaffen, A. Current perspectives on the function of sleep. *Perspect. Biol. Med.*, 1998, 41: 359-390.

- Rechtschaffen, A. and Kales, A. *A manual of Standardized Terminology, Techniques, and Scoring System for the Sleep Stages of Human Subjects*. Public Health Service Publications, Washington, 1968.
- Rieth, C. A., Cai, D. J., McDevitt, E. A. and Mednick, S. C. The role of sleep and practice in implicit and explicit motor learning. *Behav. Brain Res.*, 2010, 214: 470-474.
- Society of Psychological Hypnosis, Division 30, American Psychological Association (2005). The Division 30 Definition and Description of Hypnosis. Retrieved February 10, 2010 from http://www.apa.org/divisions/div30/define_hypnosis.html
- Talamini, L. M., Nieuwenhuis, I. L. C., Takashima, A. and Jensen, O. Sleep directly following learning benefits consolidation of spatial associative memory. *Learn. Mem.*, 2008, 15: 233-237.
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader A. and Fishbein, W. A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiol. Learn. Mem.*, 2006, 86: 241-247.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A. and Stickgold, R. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 2002, 35: 205-211.
- Wixted, J. T. The psychology and neuroscience of forgetting. *Annu. Rev. Psychol.*, 2004, 55: 235-269.

Table 1: Sleep parameters of the napping-group

Sleep parameter (in minutes)	Mean	SD
TST	26.24	12.04
SOL	16.41	11.25
S1	11.59	6.39
S2	13.85	11.08

TST = total sleep time; SOL = sleep onset latency; S1 = Time in stage 1 sleep; S2 = Time in stage 2 sleep

Table 2: Declarative memory-performance of the three groups

	waking		napping		hypnosis	
	(n = 15)		(n = 17)		(n = 15)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
number of words IR	16.93	6.09	15.94	5.52	14.27	4.68
number of words DR	12.60	8.02	15.29	7.58	14.60	5.08
forgetting rate*	-4.33	4.35	-0.65	3.35	0.33	3.31

IR = Immediate Recall; DR = Delayed Recall; *words recalled in DR minus words recalled in IR

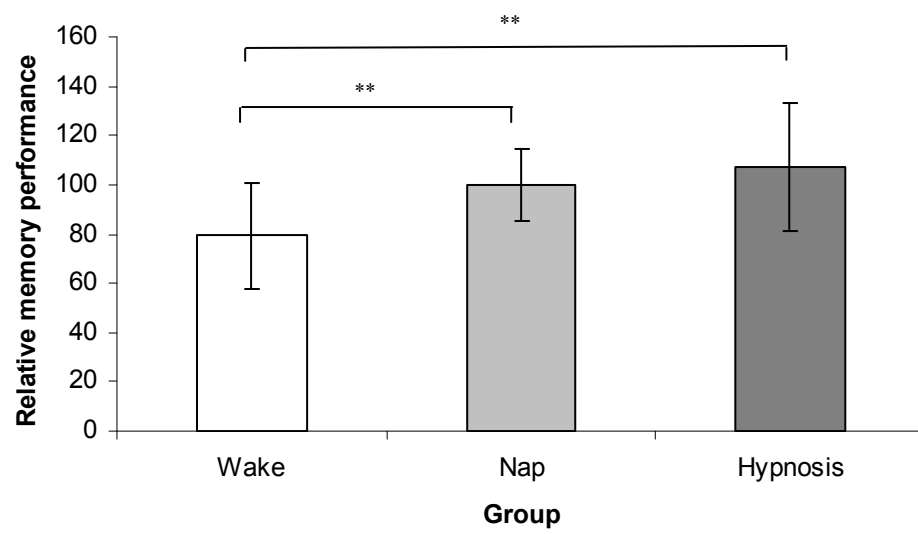
Table 3: Procedural memory performance of the three groups

	waking		napping		hypnosis	
	(n = 15)		(n = 17)		(n = 15)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Tracing speed (in ms) IR	15360.7	10446.94	15057.1	12327.57	16819.3	17190.96
Tracing speed (in ms) DR	5736.0	2185.68	6200.6	3374.47	5382.0	3311.86
Error count IR	65.21	15.08	71.16	10.17	61.15	21.23
Error count DR	63.24	12.98	65.66	14.51	55.04	19.86
Error-time (in ms)*	3707.83	1766.30	3858.37	1786.29	3126.23	2803.99

IR = Immediate Recall; DR = Delayed Recall; * total time spent off the black line during DR

Figure 1: Relative declarative memory performance (in %) in the waking-, napping- and hypnosis-group. Error bars represent standard deviation. ** $p \leq .01$

Hypnosis and the sleep-memory-effect



**The Sleep-Memory-Effect: Testing the Interference-Hypothesis by comparing
Memory Performance after a Midday Nap and after Active and Restful Waking**

Melanie Schichl, Saskia Janssen, Reinhard Pietrowsky

Institute of Experimental Psychology, University of Düsseldorf

Running Head: Memory after active and restful waking

Address for correspondence:

Melanie Schichl

University of Düsseldorf

Dept. of Clinical Psychology

Universitätstr. 1

40225 Düsseldorf

Tel.: +49 211 8112140

Fax: +49 211 8114261

E-Mail: melanie.schichl@hhu.de

Abstract

Many studies have shown a superior declarative memory performance after sleep compared to an equivalent waking period. There are a number of theoretical approaches explaining this sleep-memory effect. The interference hypothesis assumes that diminished interference during sleep supports the undisturbed memory consolidation. This hypothesis, however, assumes an active waking state with a considerable amount of information as opposed to sleep. In contrast, reduced activity during waking (restful waking) should resemble sleep with respect to interference and hence result in less disturbed memory consolidation. To test this hypothesis, verbal and nonverbal declarative memory performance after a midday nap, restful and active waking was compared. Congruent with the predictions of the interference hypothesis no memory differences between the two conditions with little interference (nap and restful waking) were found. However, contrary to our expectations there was no memory difference between these two groups and the active waking-group. This result indicates either that the sleep-memory effect may not be found for every type of memory task, or that the memory-consolidating effect of daytime naps did not occur in our napping-group. The present study demonstrates the importance of carefully choosing an adequate wake control-group because subjects' activity during the retention interval constitutes an important potentially confounding factor in sleep-memory-experiments and may bias the results obtained from nap-wakefulness-comparisons.

Keywords: sleep, napping, declarative memory, sleep-memory-effect, interference hypothesis

Introduction

Human sleep is an actively regulated, repetitive and quickly reversible behaviour that serves multiple functions like energy saving or regeneration (Rechtschaffen, 1998). For the last years there is growing evidence, that sleep benefits memory consolidation (Buzsaki, 1998; Diekelmann & Born, 2010; Walker, 2009). Consolidation refers to memory processes that take place after acquisition and stabilize, transform or enhance memory traces, so that initially fragile traces become more permanent and robust against interference (Born, Rasch, & Gais, 2006). Many studies could show this beneficial effect of post-learning-sleep for declarative (Backhaus, Hoeckesfeld, Born, Hohagen, & Junghanns, 2008; Gais, Lucas, & Born, 2006) as well as procedural memory tasks (Gais, Plihal, Wagner, & Born, 2000; Walker, Brakefield, Morgan, Hobson, & Stickgold, 2002). Most studies demonstrating this so called sleep-memory-effect used a paradigm comparing a whole night of sleep with equivalent periods of wakefulness. These studies are confounded by factors like differences in alertness level, fatigue, circadian factors as well as different levels of substances playing a crucial role in memory processes such as cortisol or acetylcholine (Born, et al., 2006). Therefore, by using a daytime napping-paradigm, one can avoid these kinds of confounding factors. Furthermore researchers are able to take advantage of a window of heightened sleep propensity in the early afternoon, called post-lunch-dip (Broughton, 1989).

Until now a number of daytime napping-studies were able to show a beneficial effect of relatively short midday sleep episodes for declarative memory tasks (Gorfine, Yeshurun, & Zisapel, 2007; Lahl, Wispel, Willigens, & Pietrowsky, 2008; Schabus, Hödlmoser, Pecherstorfer, & Klösch, 2005; Schoen & Badia, 1984; Tucker, et al., 2006). For example Lahl and colleagues (2008) demonstrated a significantly

better recall for a wordlist containing 30 adjective after subjects slept for 26 minutes during the post-lunch-dip compared to when subjects stayed awake during daytime. The observed performance gains were not correlated with sleep-onset latency, total sleep time or time spent in slow wave sleep. In a second experiment, Lahl et al. (2008) compared three groups in a repeated measures design and not only replicated the superior memory performance for adjectives of a daytime napping-group sleeping on average for 36 minutes in comparison to the waking-group, but they also showed a better declarative memory performance for an ultra short napping-group sleeping as short as 6 minutes. Although both napping-conditions led to a better recall than waking, the 36 minutes-nap-group was significantly better than the 6 minutes-nap-group. In this second experiment memory performance was not associated with total sleep time either. However there are also inconsistent results showing a nap-memory-effect only for procedural but not for declarative tasks. Backhaus and Junghanns (2006) demonstrated superior memory performance after 46 minutes of afternoon sleep in a procedural mirror-tracing task, but not for declarative paired associates learning or a face-name association task.

There are a number of different explanations for the sleep-memory-effect (Maquet, 2001). One of these, the interference hypothesis, states that sleep passively protects the organism against retroactive interference. Less forgetting during sleep is therefore due to the absence of new learning (Wixted, 2004). This explanation was already given by Jenkins and Dallenbach (1924) in their classic study in which subjects sleeping through the retention interval remembered more nonsense syllables compared to when they remained awake. Gottselig et al. (2004) tested the interference hypothesis by comparing the effects of daytime napping, restful waking or busy waking on learning of an auditory tone perception task. While subjects in the napping-group slept for 77 minutes on average, subjects in the restful

waking-condition lay in bed in a darkened bedroom instructed to relax without falling asleep. Therefore both of these two groups supposedly experienced a similar reduction of potentially interfering sensory input. The busy waking-group sat in a lighted room watching an educational movie. According to the predictions of the interference hypothesis they found a significant memory improvement in both, the napping- and restful waking- group, but not in the busy waking-group. Although the napping-group was slightly superior to the restful waking group, this difference did not reach statistical significance. Gottselig et al. (2004) concluded that sleep as well as rest promotes auditory learning by reducing interference, which normally occurs during waking.

It still remains an open question whether sleep as a distinct physiological state actively facilitates memory consolidation (Mednick, Nakayama, & Stickgold, 2003; Schabus, et al., 2005) or whether sleep passively shields the organism against retroactive interference from newly encoded material (Gottselig, et al., 2004). The present study addresses this question by comparing the declarative memory performance of three groups: an active waking-, a restful waking- and a napping-group. In contrast to the experiment of Gottselig et al. (2004) a standard declarative memory task (learning of a wordlist) was used instead of a perception task. Furthermore while their active waking-group engaged in a rather demanding waking activity (watching an educational film with instructions to attend carefully for questions about the film would be asked afterwards), in the current experiment a much less interfering activity was used. Corresponding to the predictions of the interference hypothesis it was expected, that both conditions with little interference, namely napping and restful waking, would lead to a better performance than the condition with a higher level of interference (the active waking-group). Furthermore, it was

hypothesized, that no difference in declarative memory performance will be seen after napping or restful waking.

Methods

Subjects

The sample consisted of 60 native German-speaking participants (43 female) aged between 19 – 35 years ($M = 23.18$, $SD = 3.63$). Most of the subjects were students of the University of Düsseldorf. They were non-smokers with neither a history of psychiatric nor neurologic diseases and no sleeping problems at least four weeks prior to testing. Furthermore, subjects taking any psychotropic drugs or reporting atypical sleep patterns (nightly sleep time outside 12 p.m. and 8 a.m., night work, sleep onset latency longer than 15 minutes) were excluded. The participants were randomly assigned to active waking-group ($n = 20$), restful waking-group ($n = 20$) or napping-group ($n = 20$). All of them gave written informed consent prior to testing and received financial compensation for their participation.

Material

To test memory, one verbal declarative task, a 30-Item wordlist, and one nonverbal declarative task, a stylized town map, were used. For verbal declarative memory performance subjects had to memorize a list of 30 unrelated adjectives in two minutes time (wordlist generated with the software EquiWord 1.2; Lahl & Pietrowsky, 2006). Later in free recall they had to give as many words as possible in whatever order. For analysis the number of accurate words was corrected by excluding the number of intrusions (words given that were not part of the original learning list).

For nonverbal declarative memory performance they had one minute to learn a plotted route on a stylized city map without any street names on it (map-task taken from the LGT-3, Version B by Bäuml, 1974). Points were given for every correctly marked junction; maximal 31 points could be achieved. Directly after learning and prior to treatment (active/ restful wakefulness or nap) an immediate free recall was used to determine the baseline memory performance. After treatment a delayed free recall was carried out for both tasks.

Procedure

At the day of testing the subjects were asked to not consume caffeine or alcohol. Furthermore, they were instructed to eat a light meal before testing, which took place between 12:00 a.m. and 15:00 p.m. After arriving at the sleep laboratory, EEG-, EOG- and EMG-electrodes were applied for standard electrophysiological sleep measurement. Afterwards all subjects learned the map and the wordlist immediately followed by the free recall of both tasks. Upon immediate recall subjects were informed about a second delayed recall after their treatment, then the group-assignment took place.

According to their assigned condition, subjects either had to stay awake while playing simple nonverbal PC-games (active waking-group), had to lay in bed trying to stay awake (restful waking-group) or try to sleep (napping-group) during the 70-minutes retention interval. During this whole time polysomnographic recording took place, which was online monitored from an adjacent room. The active waking-group first had to sit quietly for ten minutes with their eyes open. This was done to enhance the comparability to the other two groups in which the subjects may rehearse under resting conditions before falling asleep or while staying awake in bed. After these 10-minutes the subjects spent the remaining time playing simple nonverbal computer-

games. The restful waking-group was asked to lie in bed in the darkened soundproof sleep laboratory with their eyes open trying to not fall asleep. During the whole time polysomnographic monitoring was undertaken to make sure, that subjects stayed awake. When rolling eye movements or reduced alpha activity was noticed, subjects were alarmed via ring tone. The subjects of the napping-group had to lie down after learning and recall in the darkened soundproof sleep laboratory, trying to fall asleep. After 60 minutes in bed the subjects were awakened. After the first hour of the retention interval the electrodes were removed from all subjects. The purpose of this period was to let sleep inertia wear off during the 10 minutes needed for removal of the electrodes (Hofer-Tinguely, et al., 2005) and to make sure that the subjects were fully awake and alert at the time of delayed recall. Afterwards, exactly 70 minutes after immediate recall, the delayed free recall was conducted. All subjects were asked, whether they had rehearsed during the time they spent awake or needed to fall asleep.

Polysomnographic recording

Standard electrophysiological sleep parameters were recorded (EEG: F3-F4, C3-C4 and O1-O2 referenced to mastoids; bipolar EOG and EMG) using a portable polysomnographic device (SOMNOscreen plus PSG + tele by SOMNOmedics, Randersacker, Germany). Two independent judges, blind to the experimental condition, scored the sleep records in 30-second epochs using the software Domino by SOMNOmedics. Scoring was undertaken according to the standardized criteria of the AASM (Iber, Ancoli-Israel, Chesson, & Quan, 2007). Relevant sleep parameters were sleep-onset latency (SOL), total sleep time (TST) and amount of time spent in sleep stages N1, N2, N3 or REM sleep.

Statistical analysis

Differences between the active waking-, restful waking- and napping-group were analyzed by oneway analysis of variance (ANOVA) with the grouping factor Treatment (active waking, restful waking, napping). Post- hoc comparisons were made with independent samples t-Tests. The significance level was set at .05. For assessment of verbal declarative memory performance (wordlist) the number of words at delayed recall as well as the forgetting rate was calculated as an absolute recall measure (i.e. the number of words forgotten over the retention interval). In addition, the relative memory performance (percentage loss defined as the number of words recalled in delayed recall divided by the number of words recalled in immediate recall, the result being multiplied by 100) was computed. This relative measure takes the slight differences among subjects in their degree of original learning into account. For assessment of the nonverbal declarative memory performance (map) the number of points at delayed recall, the forgetting rate and the percentage loss were calculated analog to the verbal task.

Correlation analyses were performed between the sleep parameters sleep-onset latency and total sleep time and the memory performance at the delayed Recall.

Results

The sleep parameters of the napping-group are shown in Table 1. As can be seen the subjects needed 16 minutes on average to fall asleep and slept for 34 minutes. Sleep was dominated by the lighter sleep stages N1 and N2, none of the subjects reached the slow-wave sleep stage N3 or REM sleep.

- Insert Table 1 about here -

There was no baseline difference between the three groups regarding verbal or nonverbal declarative memory performance, suggesting that differences in delayed recall are not attributable to differences in initial learning (baseline memory performance shown in Table 2).

The mean number of words given at delayed recall (without intrusions) is displayed in Table 2. As can be seen, the restful waking-group performed better than the active waking-group (restful waking: $M = 8.30$, $SD = 6.04$ vs. active waking: $M = 7.40$, $SD = 6.12$), and these two conditions led to better recall than napping (napping: $M = 6.85$, $SD = 4.46$). The mean number of words recalled in immediate and delayed recall is displayed in Figure 1. The difference between delayed and immediate recall represents the forgetting rate. As shown in Table 2, subjects of all three groups clearly remembered less words in delayed than in immediate recall with the restful waking-group forgetting less than the napping- and active waking-group (restful waking: $M = -1.40$, $SD = 2.44$; napping: $M = -2.35$, $SD = 2.82$; active waking: $M = -2.60$, $SD = 2.42$). There was no significant difference in delayed recall between subjects of the active waking-, restful waking- or napping-group ($F_{2,57} = 0.34$, $p = .71$). Moreover there was no significant difference in the forgetting rate between the three groups ($F_{2,57} = 1.22$, $p = .30$) as well as in the relative memory performance ($F_{2,57} = 0.74$, $p = .48$).

- Insert Figure 1 about here -

The mean number of points achieved in the map-task is given in Table 2. As is apparent, the napping-group performed better than the active waking-group at

delayed recall, which was in turn superior to the restful waking-group (napping: $M = 20.25$, $SD = 6.33$ vs. active waking: $M = 19.15$, $SD = 7.39$ vs. restful waking: $M = 18.45$, $SD = 6.71$). The performance of the three groups in immediate and delayed recall is displayed in Figure 2. Regarding the forgetting rate there unfolds a different picture: subjects of both waking-conditions forgot less than subjects after napping (restful waking: $M = 0.65$, $SD = 2.98$; active waking: $M = -0.05$, $SD = 3.24$; napping: $M = -1.3$, $SD = 3.45$). However this difference did not reach statistical difference ($F_{2,57} = 1.87$, $p = .16$). Likewise there was no significant difference between the three groups regarding their performance in delayed recall ($F_{2,57} = 0.35$, $p = .70$) or their relative nonverbal memory performance ($F_{2,57} = 1.28$, $p = .29$).

- Insert Table 2 and Figure 2 about here -

Bivariate correlation analyses revealed no significant correlation between sleep onset latency and verbal or nonverbal memory performance or between total sleep time and performance at the delayed recall.

When asked after the delayed recall whether they rehearsed during the time they spent awake or needed to fall asleep, ten subjects of the restful waking-group reported rehearsal compared to four subjects in the active-waking- and three subjects in the napping-group. However, when subjects were divided post-hoc in those, who engaged in rehearsal and those who did not, no significant differences in memory performance emerged.

Discussion

The aim of the present study was to test the interference hypothesis by comparing the declarative memory performance of an active waking-, a restful waking- and a napping-group. It was expected, that the subjects experiencing little interference (i.e. subjects of the napping- and restful waking-group) would perform better in a verbal and nonverbal declarative memory task, than subjects in the active waking-group. Moreover it was assumed, that there will be no difference between the napping- and restful waking-group.

Surprisingly there was no significant difference either in verbal or in nonverbal memory performance between the three groups. Regarding the adjective wordlist all subjects produced fewer words in delayed recall than in immediate free recall. With respect to the descriptive data both of the groups with little interference performed better than the active waking-group, but this difference did not reach statistical significance. In terms of the nonverbal map-task subjects in the napping- as well as in the active waking-group remembered the route worse in delayed than in immediate recall, only subjects in the restful waking- group showed a slight hypermnesic effect.

Congruent with the interference hypothesis, there was no difference between both groups experiencing comparable amounts of little interference. This finding met our expectation and is in line with the results reported by Gottselig et al. (2004), Mednick, Makovski, Cai and Jiang (2009) or Rieth, Cai, McDevitt and Mednick (2010). All of these studies compared a restful waking-group with a napping-group and found no difference between these two. As Gorfine et al. (2007) discussed the subjects' activity in the wake-control-groups during the retention interval constitutes an important potentially confounding factor in sleep-memory-experiments and may bias the results obtained from nap-wakefulness-comparisons. Quiet or restful waking

in a darkened soundproof environment, preferably with eyes closed, states an optimal control condition in order to avoid any interference and to provide an ideal comparison group for a nap-condition. However this kind of control group harbours the disadvantage that during rest rehearsal of the learned material is poorly controlled for. In the present experiment ten subjects of the restful waking-group reported rehearsal when asked afterwards compared to only three subjects of the napping-group and four subjects of the active waking-group. Therefore rehearsal of the learned material did not constitute an advantage for subjects of the restful waking-group in the present experiment. Furthermore another potentially confounding factor in the restful waking-group are the forced awakenings when this groups subjects fell in stage 1 sleep (that is when reduced alpha activity was noticed during online-monitoring). It can not be ruled out that subjects experienced stress due to the disruptive ring tone. Stress and the associated release of cortisol have been shown to interfere with memory consolidation (Born & Plihal, 2000; Born, et al., 2006; Plihal & Born, 1999; Plihal, Pietrowsky, & Born, 1999).

The current study found no difference in declarative memory performance whatsoever between the three groups, therefore failing to show the expected nap-memory-effect. This is line with studies that likewise found no beneficial effect of an afternoon nap for a declarative memory task (Backhaus & Junghanns, 2006) or for an implicit visual search task (Mednick, et al., 2009). However that finding is inconsistent with a number of experiments clearly demonstrating this effect (e.g. Gottselig, et al., 2004; Lahl, et al., 2008; Mednick, Cai, Kanady, & Drummond, 2008; Tucker, et al., 2006). These are different from our experiment in a number of aspects like type of learning material, activity of the waking control-group, or sleep stages in the napping-group. There are a number of possible explanations for this discrepancy. First, there is a strong critical notion that sleep actually plays a pivotal role for memory

consolidation. For instance, Vertes (2004) as well as Siegel (Vertes & Siegel, 2005) are strong detractors of the memory-consolidating function of sleep. Furthermore it has to be considered, that specific aspects of the memory task itself or the type of recall influence the sleep-dependent memory consolidation. Factors like the kind of learning material (declarative vs. procedural, emotional vs. neutral), task difficulty and acquisition (e.g. criterion learning), learning mode (explicit vs. implicit) or retrieval mode (free vs. cued recall, recognition) all have an impact on the consolidation process during sleep (Diekelmann, Wilhelm, & Born, 2009). For instance, Tucker and Fishbein (2008) demonstrated, that the strength of initial encoding is crucial for the sleep-dependent performance benefit. In their experiment only subjects that performed in the top half of the sample during learning session showed a sleep-dependent performance enhancement in different declarative memory tasks (paired association, maze learning, complex figure). Finally, one has to bear in mind that in the present experiment subjects in the napping-group slept for a relative short time, their nap containing no slow wave or REM sleep. A number of studies reported the importance of SWS for declarative memory consolidation (e.g. Lau, Tucker, & Fishbein, 2010; Mednick, et al., 2003; Schabus, et al., 2005; Tucker & Fishbein, 2008; Tucker, et al., 2006). Therefore, this might be the reason for the lack of sleep-dependent memory enhancement in the current experiment. Especially considering the fact that in most of the napping-studies, even with relatively short sleeping periods, the subjects did reach SWS (e.g. Lahl, et al., 2008).

So far, a wide variety of experimental paradigms with a remarkable diversity of memory tasks were used in sleep-memory-research. Hence it is not very surprising, that until now no consistent picture regarding the sleep-memory-effect has emerged. For future research it is of utmost importance to use a proper waking control group to distinguish the interference-reduction account from the sleep-enhancement account

Memory after active and restful waking

of memory improvement. In addition, more replications with already existing experimental protocols in different laboratories should be used to further support the memory-consolidation function of sleep.

References

- Backhaus, J., Hoeckesfeld, R., Born, J., Hohagen, F., & Junghanns, K. (2008). Immediate as well as delayed post learning sleep but not wakefulness enhances declarative memory consolidation in children. *Neurobiology of Learning and Memory*, 89, 76-80.
- Backhaus, J., & Junghanns, K. (2006). Daytime naps improve procedural motor memory. *Sleep Medicine*, 7, 508-512.
- Bäumler, G. (1974). *Lern- und Gedächtnistest LGT 3*. Göttingen Verlag für Psychologie Hogrefe.
- Born, J., & Plihal, W. (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Streßhormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51, 198-208.
- Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006). Sleep to remember. *Neuroscientist*, 12, 410-424.
- Broughton, R. J. (1989). Chronobiological Aspects and Models of Sleep and Napping. In D. F. Dinges & R. J. Broughton (Eds.), *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping* (pp. 71-97). New York: Raven Press.
- Buzsaki, G. (1998). Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. *Journal of Sleep Research*, 7 Suppl 1, 17-23.
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 114-126.
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, 13, 309-321.

- Gais, S., Lucas, B., & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning and Memory*, 13, 259-262.
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U., & Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nature Neuroscience*, 3, 1335-1339.
- Gorfine, T., Yeshurun, Y., & Zisapel, N. (2007). Nap and melatonin-induced changes in hippocampal activation and their role in verbal memory consolidation. *Journal of Pineal Research*, 43, 336-342.
- Gottselig, J. M., Hofer-Tinguely, G., Borbely, A. A., Regel, S. J., Landolt, H. P., Retey, J. V., et al. (2004). Sleep and rest facilitate auditory learning. *Neuroscience*, 127, 557-561.
- Hofer-Tinguely, G., Achermann, P., Landolt, H. P., Regel, S. J., Retey, J. V., Durr, R., et al. (2005). Sleep inertia: performance changes after sleep, rest and active waking. *Cognitive Brain Research*, 22, 323-331.
- Iber, C., Ancoli-Israel, S., Chesson, A., & Quan, S. F. (2007). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications* (1st ed.). Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine.
- Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *American Journal of Psychology*, 35, 605-612.
- Lahl, O., & Pietrowsky, R. (2006). EQUIWORD: A software application for the automatic creation of truly equivalent word lists. *Behavior Research Methods*, 38, 146-152.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B., & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, 17, 3-10.

- Lau, H., Tucker, M. A., & Fishbein, W. (2010). Daytime napping: Effects on human direct associative and relational memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 93, 554-560.
- Maquet, P. (2001). The role of sleep in learning and memory. *Science*, 294, 1048-1052.
- Mednick, S. C., Cai, D. J., Kanady, J., & Drummond, S. P. (2008). Comparing the benefits of caffeine, naps and placebo on verbal, motor and perceptual memory. *Behavioural Brain Research*, 193, 79-86.
- Mednick, S. C., Makovski, T., Cai, D. J., & Jiang, Y. V. (2009). Sleep and rest facilitate implicit memory in a visual search task. *Vision Research*, 49, 2557-2565.
- Mednick, S. C., Nakayama, K., & Stickgold, R. (2003). Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nature Neuroscience*, 6, 697-698.
- Plihal, W., & Born, J. (1999). Memory consolidation in human sleep depends on inhibition of glucocorticoid release. *Neuroreport*, 10, 2741-2747.
- Plihal, W., Pietrowsky, R., & Born, J. (1999). Dexamethasone blocks sleep induced improvement of declarative memory. *Psychoneuroendocrinology*, 24, 313-331.
- Rechtschaffen, A. (1998). Current perspectives on the function of sleep. *Perspectives in Biology and Medicine*, 41, 359-390.
- Rieth, C. A., Cai, D. J., McDevitt, E. A., & Mednick, S. C. (2010). The role of sleep and practice in implicit and explicit motor learning. *Behavioural Brain Research*, 214, 470-474.
- Schabus, M., Hödlmoser, K., Pecherstorfer, T., & Klösch, G. (2005). Influence of Midday Naps on Declarative Memory Performance and Motivation. *Somnologie*, 9, 148-153.

- Schoen, L. S., & Badia, P. (1984). Facilitated recall following REM and NREM naps. *Psychophysiology*, 21, 299-306.
- Tucker, M. A., & Fishbein, W. (2008). Enhancement of declarative memory performance following a daytime nap is contingent on strength of initial task acquisition. *Sleep*, 31, 197-203.
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader, A., & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 86, 241-247.
- Vertes, R. P. (2004). Memory consolidation in sleep: dream or reality. *Neuron*, 44, 135-148.
- Vertes, R. P., & Siegel, J. M. (2005). Time for the sleep community to take a critical look at the purported role of sleep in memory processing. *Sleep*, 28, 1228-1229.
- Walker, M. P. (2009). The role of sleep in cognition and emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 168-197.
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002). Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35, 205-211.
- Wixted, J. T. (2004). The psychology and neuroscience of forgetting. *Annual Review of Psychology*, 55, 235-269.

Table 1: Sleep parameters of the napping-group (n = 20)

Sleep parameter (in minutes)	Mean	SD
TST	34.05	9.67
SOL	16.35	8.89
N1	8.25	3.53
N2	25.78	9.51
N3	0	0

TST = total sleep time; SOL = sleep onset latency; N1 = Time in stage 1 sleep; N2 = Time in stage 2 sleep; N3 = Time in stage 3 sleep

Table 2: Verbal and nonverbal declarative memory performance of the three groups (Mean $\pm$ Standard Deviation)

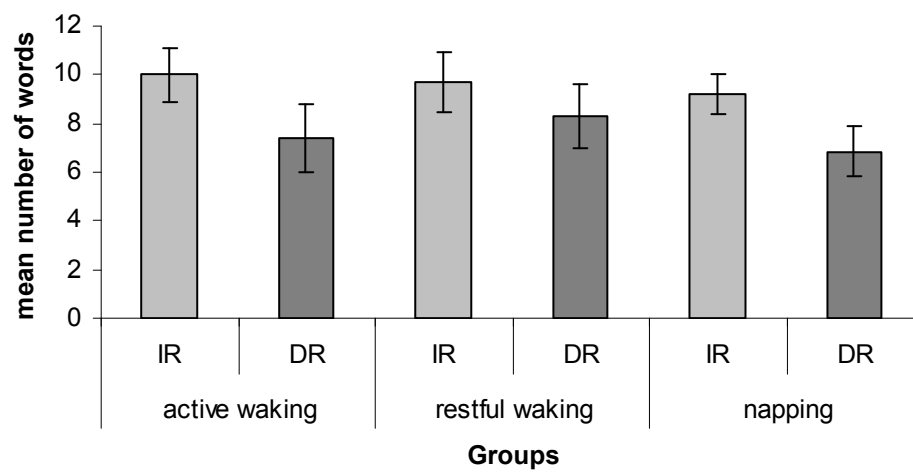
		Active Waking	Restful Waking	Napping
Wordlist	IR	10.00 $\pm$ 5.00	9.70 $\pm$ 5.41	9.20 $\pm$ 5.53
	DR	7.40 $\pm$ 6.12	8.30 $\pm$ 6.04	6.85 $\pm$ 4.46
	Forgetting	-2.60 $\pm$ 2.42	-1.40 $\pm$ 2.44	-2.35 $\pm$ 2.82
	Rel. memory performance	65.16 $\pm$ 38.05	79.30 $\pm$ 36.33	69.35 $\pm$ 38.59
Map	IR	20.40 $\pm$ 6.95	17.80 $\pm$ 6.58	21.55 $\pm$ 6.53
	DR	19.15 $\pm$ 7.39	18.45 $\pm$ 6.71	20.25 $\pm$ 6.33
	Forgetting	-0.05 $\pm$ 3.24	0.65 $\pm$ 2.98	-1.30 $\pm$ 3.45
	Rel. memory performance	94.22 $\pm$ 15.13	104.03 $\pm$ 24.78	96.10 $\pm$ 20.61

IR = immediate recall; DR = delayed recall; Forgetting = Forgetting rate (DR – IR); Rel. memory performance = relative memory performance at DR in % with respect to memory performance at IR (= 100 %)

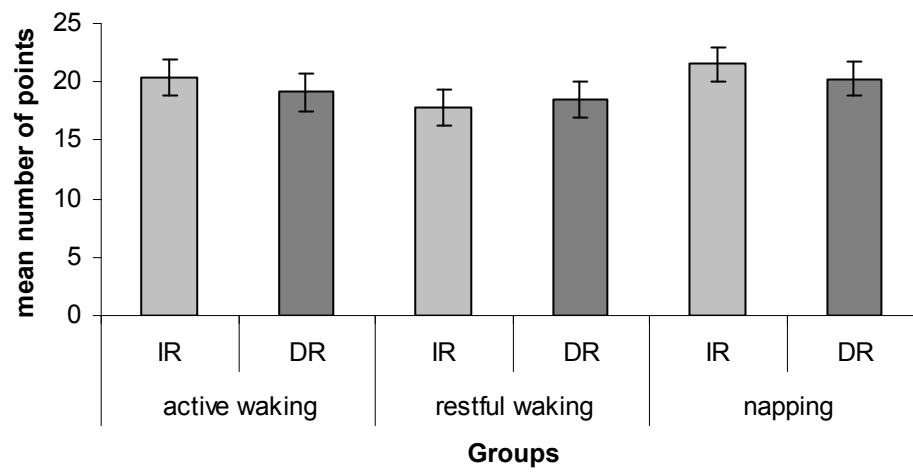
Figure 1: Mean number of words recalled by the active waking-, restful waking- and napping- group in immediate (IR) and delayed recall (DR). Error bars represent the standard error of mean.

Figure 2: Mean number of points in the map-task attained by the active waking-, restful waking- and napping- group in immediate (IR) and delayed recall (DR). Error bars represent the standard error of mean.

Memory after active and restful waking



Memory after active and restful waking



The Influence of Immediate versus Delayed Nap Onset on Declarative Memory

Melanie Schichl, Justina Matthies, Reinhard Pietrowsky

Institute of Experimental Psychology, University of Düsseldorf

Running Head: Delayed Nap Onset and Declarative Memory

Address for correspondence:

Reinhard Pietrowsky

University of Düsseldorf

Dept. of Clinical Psychology

Universitätstr. 1

40225 Düsseldorf

Tel.: +49 211 8112140

Fax: +49 211 8114261

E-Mail: R.Pietrowsky@hhu.de

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the question, whether sleep has to follow immediately after learning to be beneficial for declarative memory performance. In order to answer this question, the memory performance in a number of verbal as well as nonverbal declarative memory tasks was compared between a waking-control-group and two napping-groups. Subjects in the immediate napping-group slept for about 30 minutes directly after learning whereas participants of the delayed napping-group slept 2.5 hours after the learning session for an equivalent time period. While the immediate napping- group was superior compared to the wake-group in a number of memory tasks, there was no difference between subjects who stayed awake and subjects in the delayed napping condition. Furthermore, an immediate afternoon nap led to a better memory performance than the delayed nap. This finding shows that the sleep-memory effect, at least after a short nap, only occurs when sleep follows learning immediately.

Keywords: sleep, napping, declarative memory, sleep-memory-effect

Introduction

Learning is a multi-step process consisting of at least three distinct stages: encoding, consolidation and retrieval (1). Thereby memory consolidation refers to a process of reactivation and incorporation of afore labile memory traces into a more permanent form embedded in long-term-memory (2). Sleep has been shown to play a critical role in memory consolidation (3-5). Early findings (6) already showed a diminished forgetting rate for nonsense syllables as well as better recognition for verbal and nonverbal material (7) after intervals of sleep compared to intervals of wakefulness. This observation of a beneficial effect of sleep on memory is called sleep-memory-effect and was shown in a number of experiments for different kinds of learning material, e.g. declarative memory tasks (8-9), procedural tasks (10-12) or perceptual learning tasks (13-14). Usually in a classical paradigm to study the influence of sleep on memory performance, researchers compare a period of sleep immediately following learning with an equivalent period of wakefulness. However the temporal relationship between learning and sleep onset remains to be investigated. Because in the real-life learning setting the learner will hardly ever have the opportunity to directly sleep after learning, it is important to gain insight into this temporal relationship.

To date only a few investigators have addressed this question by comparing different sleep-groups which either slept directly after learning or spend some time awake between learning and sleeping. Among the first were Benson and Feinberg (15) who studied the effect of immediate versus delayed sleep onset on paired association and concluded “that sleep exerts its beneficial effect only when it occurs shortly after original learning possibly because it minimizes interference during some early but sensitive stage of consolidation”. In a number of experiments, Gais, Lucas

and Born (16) varied the time between the learning of a verbal paired association task and subsequent night sleep. They reasoned that sleep seems to be most effective when it follows within a few hours after learning without longer periods of intervening wakefulness. As in their first experiment the time interval between learning and sleep is confounded because of circadian effects (learning took place either in the morning or evening while sleep was always scheduled at 11 p.m.), they conducted a second experiment in which learning took place at the same time in all conditions. Taken together their findings provided evidence for the assumption, that sleep-dependent consolidation is enhanced when the period of wakefulness between learning and sleep is short, independent of the time of day. Talamini, Nieuwenhuis, Takashima and Jensen (17) used a nonverbal association task in which faces had to be associated with spatial locations. They observed differential forgetting during sleep as a function of time of sleep onset latency and concluded that, if the sleep phase follows shortly after learning, forgetting is slowed down whereas “the longer the time between learning and sleep, the more a memory trace will have decayed”.

To date a number of studies showed a critical time window for a positive effect of post-learning sleep for procedural memory tasks (13, 18-19). It is conceivable that a similar memory-dependent sleep window exists for declarative memory content (20). The aforementioned night-time sleep studies provide first indications that the timing of post-learning sleep states an important factor, potentially influencing the effect of sleep on memory consolidation. However, studies using a night-sleep-paradigm are confounded by factors such as a difference in alertness level, circadian factors or the cortisol level. Especially in experiments, where the time interval between learning and sleeping is varied, this represents a problem, because normally the learning session takes place at different times of the day in the immediate versus delayed sleep-groups. In the last years there is a growing interest

in daytime-napping-studies. During daytime naps the alertness-level shows a significantly lower variation and researchers can take advantage of the post-lunch-dip – a time frame of heightened sleep propensity in the early afternoon (21). In addition the daytime-nap-paradigm allows to vary the time interval between learning and daytime sleep while holding constant the time of learning and retention.

Doyon et al. (22) compared the influence of day-time and night-time sleep on the consolidation of two motor skill tasks: motor sequence learning (finger-tapping task) and kinematic visuomotor adaption. They assigned the subjects either to a day-sleep, night-sleep or no sleep condition, of which in the day-sleep-group subjects either took their nap immediately after training (immediate day-sleep) or 4 hours after initial training (delayed day-sleep). In the finger-tapping task, although night-sleep produced greater increases in performance (measured as increased speed) than day-sleep, all three sleeping-groups (night-sleep, immediate day-sleep and delayed day-sleep) performed better than the no sleep-group. No speed-accuracy trade-off was observed. Doyon and colleagues concluded that sleep after training of a motor sequence is advantageous and the timing of the post-training-sleep is important as well: “scheduling the nap immediately after training had positive effect on the amount of delayed gains (...) as compared to the protocol where training and nap were separated by several hours” (p. 21). In contrast to the sleep-dependent performance gains in the finger-tapping task in the visuomotor adaption task, which included a strong perceptual component, the simple passage of time was as effective as sleep. Significant gains in speed were observed in all groups, regardless of the occurrence of sleep. Their results suggest that the process of procedural memory consolidation differs based on the nature of the underlying task.

In a very recently published study, Alger et al. (20) used a staggered nap schedule and compared the performance in a declarative visual recognition task of a

wake control group and three napping-groups. Subjects in the nap-groups slept for a maximum of 90 minutes either immediately, 2 hours or 4 hours after learning. The declarative task required the subjects to respond to neutral pictures deciding whether these showed an indoor or outdoor scene. They were neither instructed to memorize the pictures nor informed about the latter recognition-test. After a 6-hour retention-interval filled with either a nap or waking activity (watching animated comedies) subjects had to look again at the previously presented pictures, intermixed with new pictures, and make old-new decisions. Interestingly, the results showed better performance on the recognition task the longer the participants remained awake before nap onset. The 4-hour delay nap-group performed better than the wake-group, showing a nap-memory effect. Furthermore this delayed nap-group was superior compared to the immediate nap-group, whereas there was no significant difference between the immediate and 2-hour delay nap-group and the wake-group. This somewhat surprising finding highlights the necessity to further investigate the relationship between sleep onset after learning and sleep-dependent improved memory consolidation.

That the timing of sleep besides other parameter influences the memory-consolidating capacity was already discussed by Diekelmann, Wilhelm and Born (23) in their review about the whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. They emphasized that in the context of everyday life learning seldom takes place in the evening or around lunchtime, directly before a sleeping-episode, whereas in experimental investigations the subjects normally learn immediately before sleeping. The authors concluded that it remains unresolved, whether sleep must occur immediately after learning to enhance declarative memory consolidation.

Therefore the aim of the present study was to further investigate the question, whether sleep has to follow immediately after learning to be beneficial for declarative

memory performance. In contrast to the study of Alger et al. (2010) a number of different verbal and nonverbal declarative memory tasks were used and subjects were explicitly instructed to memorize the material. Participants were randomly assigned to either a wake-control-group, an immediate nap-group or a delayed nap-group. It was expected that both napping-groups would be superior compared to the wake-group. In addition no difference was expected between the immediate and delayed nap-groups.

Methods

Subjects

Fifty-seven native German-speaking young adults (20-40 years, $M = 25.09$, $SD = 4.46$) participated in the experiment. They were nonsmoking and had neither a history of psychiatric nor neurological diseases, nor did they take any psychotropic drugs. The subjects reported no sleeping problems for the last four weeks prior to the testing session. They were randomly assigned to a waking-, immediate napping- or delayed napping-group. A total of four participants had to be eliminated due to the inability to fall asleep when assigned to one of the two napping-groups. Furthermore, four subjects were excluded from statistical analysis because their memory performance deviated more than two standard deviations from the group mean. The mean age of the remaining sample ($N = 49$; 42 females) was 24.7 years ($SD = 4.48$). There was no age difference ($F(2,49) = 0.08$, n.s.) between the waking- ($n = 16$), immediate napping- ($n = 16$) or delayed napping- group ($n = 17$). They gave written informed consent and received a financial compensation.

Material

To test declarative memory performance a test battery consisting of six tasks (LGT-3, Version A; 24) was used. This battery includes three verbal subtests (Turkish, Telephone Numbers, Construction Project), two nonverbal subtests (City Map, Company-Logos) and one subtest with verbal as well as nonverbal components (Objects).

In the verbal subtest “Turkish” (= TURK) subjects had one minute to memorize the Turkish counterparts of 20 German words. In the later 4-minute recall they had to pick the right translation for the German word out of four Turkish words. In the verbal subtest “Telephone Numbers” (= TEL) the participants had to memorize ten three-digit telephone numbers, which were associated with a contact. Later they had two minutes time to write the corresponding number to the given contact. In the third verbal subtest “Construction Project” (= CONST) a short text about the planned construction of a library was given for one minute and subjects were asked to memorize details like the name of the architect, number of library rooms, estimated costs and so on. In the later recall subjects had four minutes time to answer 21 questions about the previously presented text. In the nonverbal subtest “City Map” (= MAP) subjects had one minute to learn a plotted route on a stylized city map without any street names on it. Later on they had one minute to sketch this route in an empty map. Points were given for every correctly marked junction, with a maximum of 31 points being achievable. In the nonverbal subtest “Company-logos” (= COMP) the participants had one minute to memorize 16 given company-logos. Thereinafter they had four minutes to choose the before presented logo out of four different logos. In the subtest “Objects” (= OBJ) subjects were asked to memorize 20 drawn objects in one minute time, later on they had to remember as many of them as possible in two minutes time.

In addition to this test battery the subjects had to memorize a list of 30 unrelated adjectives (WORD). The wordlist was generated using the software EquiWord 1.2 (25).

After the learning session of all seven memory tasks and prior to treatment (wakefulness, immediate or delayed nap) an immediate free recall was used to determine the baseline memory performance. After the 3-hours retention interval a delayed free recall was carried out.

Procedure

At the day of testing, the subjects were asked to refrain from consuming caffeine or alcohol. Furthermore, they were instructed to eat a light meal before testing, which took place approximately between 11:00 a.m. and 16:00 p.m. Subjects stayed in the sleep laboratory during this whole time. After arriving, EEG-, EOG- and EMG-electrodes were applied for standard electrophysiological sleep measures.

Afterwards all subjects learned the six LGT-3 tasks and the wordlist in randomized order. Subsequently a recall of these tasks was conducted in the same order as during the learning session. Upon immediate recall the group-assignment took place.

According to their assigned condition, subjects either had to stay awake while watching nonverbal animated short films (waking-group) or had to lie in bed trying to sleep (napping-groups) during the 3-hours retention interval. During the whole time in bed polysomnographic recording took place, which was online monitored from an adjacent room. The waking-group first had to sit quietly for ten minutes with their eyes open. This was done to enhance the comparability with the other two groups in which the subjects had the chance to rehearse under resting conditions before falling asleep. After these 10-minutes the electrodes were removed and subjects spent the

remaining time watching nonverbal animated movies. The subjects of the immediate napping-group had to lie down in the darkened soundproof sleep laboratory directly after learning and first recall, trying to fall asleep. After 60 minutes in bed the subjects were awakened and the electrodes were removed. For the remaining two hours of the retention interval they had to watch the same nonverbal animated films as the subjects in the waking-group. Participants in the delayed napping-group first watched these movies for almost two hours and then went to bed for 60 minutes with the instruction to try to fall asleep. During the duration of the three-hour retention interval snacks and drinks were provided in the laboratory.

Three hours after immediate recall, the delayed free recall was conducted in which subjects dealt with the tasks in the same order as during the learning or immediate recall session.

Polysomnographic-recording

Standard electrophysiological sleep parameters were recorded (EEG: C3, C4 referenced to mastoids; bipolar EOG and EMG) using the MP150 Data Acquisition System (Biopac Systems, Inc; Goleta, USA). Two independent judges blind to the experimental condition scored the sleep records in 30-second epochs using the software AcqKnowledge by Biopac Systems, Inc. according to standardized criteria (26). Relevant sleep parameters were sleep-onset latency (SOL) and total sleep time (TST).

Statistical analysis

Differences between the waking-, immediate and delayed napping-group for each of the six subtests of the LGT and the wordlist were analyzed using an oneway analysis

of variance (ANOVA) with the grouping factor Treatment (waking, immediate napping, delayed napping). Post- hoc comparisons were made with independent samples t-Tests. The significance level was set at .05. All results are given as mean $\pm$ standard deviation. Furthermore correlation analyses were performed between the sleep parameters sleep-onset latency and total sleep time and the memory performance at the delayed recall.

Results

There were no significant differences in the sleep parameters between the two napping-groups . The subjects of the immediate napping-group needed 20.41 ± 13.52 minutes on average to fall asleep and slept for 34.16 ± 15.05 minutes. Subjects in the delayed napping-group had a sleep onset latency of 14.27 ± 10.59 minutes and an average total sleep time of 32.68 ± 16.75 minutes (sleep onset latency: $t(32) = 1.46$, $p = .16$; total sleep time: $t(32) = 0.27$, $p = 0.79$) . Sleep was dominated by the lighter sleep stages N1 and N2, none of the subjects reached the slow-wave sleep stage N3 or REM sleep.

There was no baseline difference between the three groups regarding their declarative memory performance in any subtest, suggesting that differences in delayed recall are not attributable to differences in initial learning (MAP: $F(2) = 1.57$, $p = .20$; TURK: $F(2) = 3.34$, $p = .06$; OBJ: $F(2) = 0.73$, $p = .49$; TEL: $F(2) = 1.98$, $p = .15$; CONST: $F(2) = 1.83$, $p = .17$; COMP: $F(2) = 0.11$, $p = .90$; WORD: $F(2) = 3.11$, $p = .06$). The mean memory performance at immediate and delayed recall is shown in Table 1. As can be seen, in the delayed recall the immediate napping-group is slightly superior compared to delayed napping and waking regarding the verbal as well as the nonverbal memory performance.

- Insert Table 1 about here -

Although the ANOVA revealed differences for delayed recall between the three groups only by trend, post-hoc comparisons were made. Independent sample t-Tests could show a significant better performance of the immediate napping-group in comparison to the wake-group in three of the verbal subtests: TURK ($t(30) = 1.71$, $p = .05$), CONST ($t(30) = 2.25$, $p = .02$) and WORD ($t(30) = 1.91$, $p = .03$). There was no difference between these two groups regarding the subtest TEL ($t(30) = 0.44$, $p = .33$), MAP ($t(30) = 0.88$, $p = .19$), COMP ($t(30) = 0.30$, $p = .38$) or OBJ ($t(30) = 0.62$, $p = .27$). Furthermore there was no significant difference between the wake-group and the delayed sleep-group in any subtest: MAP ($t(31) = 1.15$, $p = .13$), TURK ($t(31) = 0.32$, $p = .37$), TEL ($t(31) = 0.73$, $p = .24$), CONST ($t(31) = -0.16$, $p = .44$), COMP ($t(31) = 0.01$, $p = .50$), OBJ ($t(31) = -0.72$, $p = .24$) or WORD ($t(31) = -0.37$, $p = .10$). The post-hoc comparisons of the two napping-groups showed an advantage for the immediate napping-group in the subtests MAP ($t(31) = 2.49$, $p = .02$) and TURK ($t(31) = 2.09$, $p = .05$), however no significant difference in any of the remaining subtests: TEL ($t(31) = 1.13$, $p = .27$), CONST ($t(31) = 1.91$, $p = .07$), COMP ($t(31) = 0.27$, $p = .79$), OBJ ($t(31) = -0.16$, $p = .87$) or WORD ($t(31) = 1.71$, $p = .10$). The memory performance at the delayed recall for every subtest and condition is displayed in Figure 1.

- Insert Figure 1 about here -

When the data from both napping-groups ($n = 34$) were taken together bivariate correlation analyses revealed a significant negative correlation between sleep onset latency and the memory performance in the nonverbal subtest COMP ($r = -.41$; $p = .02$). In addition, there was a significant positive correlation between the

total time subjects of the napping-groups slept and the delayed recall-performance in the subtest TURK ($r = .45$; $p = .01$).

Discussion

The purpose of the present experiment was to investigate, whether sleep has to follow immediately after learning to be beneficial for declarative memory performance. Therefore, two napping-conditions (immediate and delayed napping) as well as one wake-control-group were compared regarding their performance in a number of verbal and nonverbal declarative memory tasks. It was expected that both napping-groups would be superior compared to the wake-group. Furthermore no difference was expected between the immediate and delayed nap-group. The study revealed mixed results: consistent with our hypothesis subjects who slept immediately after learning performed better than participants, who stayed awake during the whole retention interval playing PC-Games in the verbal subtests "Turkish", "Wordlist" and "Construction Project". However their performance did not differ in the verbal subtest "Telephone Numbers" as well as in the nonverbal subtests "City Map" and "Company-Logos" or in the test "Objects". Therefore a beneficial effect of a half-hour nap on verbal declarative memory was shown, but this nap-memory-effect was not seen when subjects had to memorize numbers, a route, logos or objects. Inconsistent with our expectations there was no difference between the subjects of the waking-group and the participants, who napped for about 30-minutes after staying awake for 2.5hours after learning (delayed napping). Together with the aforementioned result of a significant difference between the wake- and immediate nap-group this finding would suggest, that sleep indeed has to follow immediately after learning to cause an optimized memory consolidation. This result is in line with findings from night-sleep experiments conducted by Gais and colleagues (16) or

Talamini et al. (17), who likewise found a better consolidation of declarative memory tasks after immediate night-sleep compared to night-sleep several hours after learning. However it has to be mentioned, that their studies and the present experiment are difficult to compare, because firstly subjects in the aforementioned studies had a full night of sleep containing slow-wave sleep as well as REM-sleep and secondly the time-delay between learning and subsequent sleep was considerably greater (15-hours respectively 12-hours as compared to 2.5-hours in this experiment). Doyon et al. (22) used a paradigm with delayed or immediate day- and night-time-sleep with a shorter three-hour delay between learning and the delayed nap. Their results revealed a significant superiority of immediate night-time sleep in comparison to day-time wakefulness and a trend towards an advantage of the immediate nap-group compared to the wake-group. There was no difference between their delayed nap-group and the wake-control-group. While these results are in accordance with the results reported by our group, one has to consider that Doyon et al. (2009) used a procedural memory task (finger-tapping), whereas we used declarative memory tasks.

Although no differences between the two napping-groups were expected, the immediate napping-group performed significantly better than the delayed napping-group in the nonverbal subtest "City Map" and likewise in the verbal subtest "Turkish". This somewhat surprising finding is in line with the results found by Talamini and colleagues (17) who showed a significantly better retention when night-time sleep followed immediately after learning of a face-location association task compared to delayed night-time sleep. However in the daytime-sleep experiment of Alger et al. (20) there was no difference between the immediate napping-group and the 2-hour-delay napping-group. Quite contrary to our result of a better performance of the immediate napping-group they found exactly the opposite with their immediate

napping-group being inferior to the 4-hour-delay napping-group. Yet one has to bear in mind, that Alger and colleagues (20) used a surprise recognition-task: their subjects were neither informed, that they had to memorize the material nor about the later recall. Therefore while in the present experiment learning took place intentionally, in their study learning was rather incidental. As Diekelmann and Born (4) pointed out in their review the process of encoding determines, whether memories will benefit from sleep-dependent consolidation. They conclude that explicit encoding of a memory favours the beneficial influence of sleep on memory consolidation. Therefore it is possible, that the explicit encoding of the memory material in the present study is the crucial factor, which determines the advantage of the immediate napping-group over the delayed napping-group.

The present finding of a superior memory performance of subjects, who napped immediately after learning, as compared to participants who stayed awake or napped with a 2,5-hour-delay, is consistent with the classical interference hypothesis (27) which states, that sleep serves as a shield passively protecting the organism against retroactive interference from newly encoded material (9). According to the assumptions of this hypothesis the memory trace degrades as the time between learning and sleep increases. Therefore an immediate shielding from potentially interfering stimuli could be pivotal for the observed advantage of the immediate napping-group. This observation holds important implications for the real-life learning setting: for an optimal beneficial effect of sleep on memory consolidation the delay between encoding and successive sleep should be as short as possible, which in most cases is probably rather hard to implement. However one has to keep in mind that in a real-life learning situation there are a number of other factors determining the encoding strength (23) and therefore influencing the sleep-dependent memory

consolidation (e.g. motivational circumstances, type of learning material, emotional vs. neutral quality or difficulty of the learning task).

Correlations were found only between sleep onset latency and the subtest Company-Logos: the faster subjects in the napping-groups fell asleep, the better they remembered the logos. Furthermore a positive correlation between total sleep time and the performance in the subtest Turkish was observed. That means, that the longer subjects slept, the more Turkish words were recalled. However because there were no further correlations, the relationship between sleep parameters and the declarative memory performance remains unclear. A more detailed EEG data analysis (e.g. spindle density) and correlations between these physiological EEG correlates with the memory performance could be informative.

For future research it would be interesting to further evaluate whether there actually is a time window in which sleep has to follow the learning of declarative memory material to be most effective – in analogy to the proposed critical time window for procedural memory consolidation (13). Therefore additional napping-groups and a more staggered experimental sleeping schedule would be appropriate. Furthermore the results should be replicated with a bigger sample as well as other declarative learning tasks. Those could for instance involve varying degrees of emotionality (emotionally arousing vs. neutral material) and other types of retrieval tests combined with longer napping-periods containing slow-wave-sleep and/ or REM-sleep. In addition it would be interesting to further explore the influence of intentional versus incidental learning which would probably clarify the observed differences between the present study and the results of Alger et al. (20).

References

1. Buckner RL, Koutstaal W. Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1998;95:891-8.
2. Peigneux P, Laureys S, Delbeuck X, Maquet P. Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*. 2001;12:A111-24.
3. Born J, Rasch B, Gais S. Sleep to remember. *Neuroscientist*. 2006;12:410-24.
4. Diekelmann S, Born J. The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*. 2010;11:114-26.
5. Walker MP. The role of sleep in cognition and emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009;1156:168-97.
6. Jenkins JG, Dallenbach KM. Obliviscence during sleep and waking. *American Journal of Psychology*. 1924;35:605-12.
7. Dahl A. Über den Einfluß des Schlafens auf das Wiedererkennen. *Psychological Research*. 1928;11:290-301.
8. Ellenbogen JM, Hulbert JC, Stickgold R, Dinges DF, Thompson-Schill SL. Interfering with theories of sleep and memory: sleep, declarative memory, and associative interference. *Current Biology*. 2006;16:1290-4.
9. Rasch B, Born J. Reactivation and Consolidation of Memory During Sleep. *Current Directions in Psychological Science*. 2008;17:188-92.
10. Plihal W, Born J. Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. *Journal of cognitive neuroscience*. 1997;9:534-47.

11. Walker MP, Brakefield T, Hobson JA, Stickgold R. Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*. 2003;425:616-20.
12. Walker MP, Brakefield T, Morgan A, Hobson JA, Stickgold R. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*. 2002;35:205-11.
13. Stickgold R, James L, Hobson JA. Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*. 2000;3:1237-8.
14. Gottselig JM, Hofer-Tinguely G, Borbely AA, Regel SJ, Landolt HP, Retey JV, et al. Sleep and rest facilitate auditory learning. *Neuroscience*. 2004;127:557-61.
15. Benson K, Feinberg I. The beneficial effect of sleep in an extended Jenkins and Dallenbach paradigm. *Psychophysiology*. 1977;14:375-84.
16. Gais S, Lucas B, Born J. Sleep after learning aids memory recall. *Learning and Memory*. 2006;13:259-62.
17. Talamini LM, Nieuwenhuis IL, Takashima A, Jensen O. Sleep directly following learning benefits consolidation of spatial associative memory. *Learning and Memory*. 2008;15:233-7.
18. Fischer S, Hallschmid M, Elsner AL, Born J. Sleep forms memory for finger skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2002;99:11987-91.
19. Korman M, Doyon J, Doljansky J, Carrier J, Dagan Y, Karni A. Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nature Neuroscience*. 2007;10:1206-13.

20. Alger SE, Lau H, Fishbein W. Delayed onset of a daytime nap facilitates retention of declarative memory. *PLoS One*. 2010;5:e12131.
21. Broughton RJ. Chronobiological Aspects and Models of Sleep and Napping. In: Dinges DF, Broughton RJ, editors. *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping*. New York: Raven Press; 1989. p. 71-97.
22. Doyon J, Korman M, Morin A, Dostie V, Hadj Tahar A, Benali H, et al. Contribution of night and day sleep vs. simple passage of time to the consolidation of motor sequence and visuomotor adaptation learning. *Experimental Brain Research*. 2009;195:15-26.
23. Diekelmann S, Wilhelm I, Born J. The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*. 2009;13:309-21.
24. Bäumler G. *Lern- und Gedächtnistest LGT 3*. Göttingen Verlag für Psychologie Hogrefe; 1974.
25. Lahl O, Pietrowsky R. EQUIWORD: A software application for the automatic creation of truly equivalent word lists. *Behavior Research Methods*. 2006;38:146-52.
26. Rechtschaffen A, Kales A, editors. *A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for the sleep stages of human subjects*. Los Angeles: UCLA; 1968.
27. Wixted JT. The psychology and neuroscience of forgetting. *Annual Review of Psychology*. 2004;55:235-69.

Figure legend:

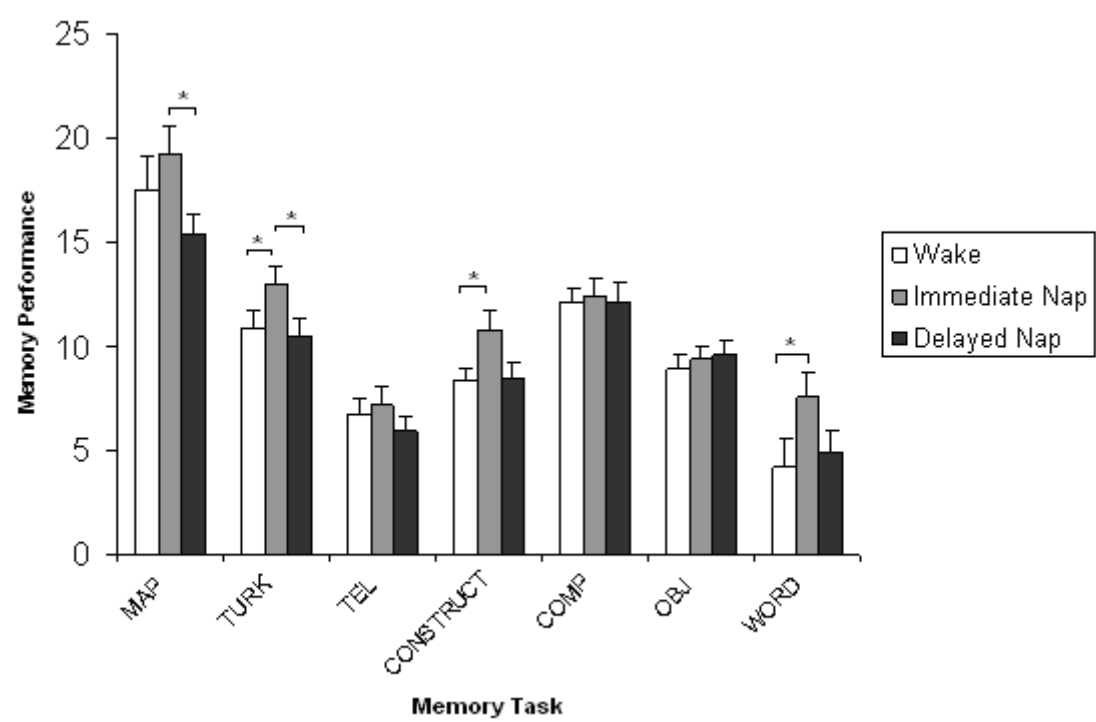
Figure 1: Mean memory performance at the delayed recall for every subtest and condition. Error bars represent standard error of mean.

MAP = subtest City Map
TURK = subtest Turkish
TEL = subtest Telephone Numbers
CONSTRUCT = subtest Construction Project
COMP = subtest Company-Logos
OBJ = subtest Objects
WORD = Wordlist

Table 1: Memory performance of the three groups at immediate (IR) and delayed recall (DR). (M $\pm$ SD)

Subtest		Waking (n = 16)	Immediate Napping (n = 16)	Delayed Napping (n = 17)
MAP	IR	18.06 $\pm$ 6.09	18.87 $\pm$ 4.43	15.76 $\pm$ 5.12
	DR	17.50 $\pm$ 6.46	19.31 $\pm$ 5.10	15.35 $\pm$ 4.02
TURK	IR	11.63 $\pm$ 3.54	14.12 $\pm$ 3.63	11.24 $\pm$ 3.21
	DR	10.87 $\pm$ 3.63	13.00 $\pm$ 3.39	10.47 $\pm$ 3.56
TEL	IR	7.25 $\pm$ 2.84	7.75 $\pm$ 2.98	5.94 $\pm$ 2.28
	DR	6.69 $\pm$ 3.03	7.19 $\pm$ 3.45	5.94 $\pm$ 2.86
CONST	IR	8.38 $\pm$ 2.83	10.50 $\pm$ 4.20	8.46 $\pm$ 3.54
	DR	8.25 $\pm$ 2.38	10.81 $\pm$ 3.89	8.41 $\pm$ 3.34
COMP	IR	12.56 $\pm$ 2.28	12.12 $\pm$ 3.74	12.59 $\pm$ 3.45
	DR	12.19 $\pm$ 2.69	12.50 $\pm$ 3.23	12.18 $\pm$ 3.75
OBJ	IR	9.06 $\pm$ 2.18	9.75 $\pm$ 2.65	10.06 $\pm$ 2.38
	DR	8.88 $\pm$ 2.73	9.44 $\pm$ 2.39	9.59 $\pm$ 2.96
WORD	IR	8.38 $\pm$ 3.07	11.31 $\pm$ 4.44	8.65 $\pm$ 3.46
	DR	7.69 $\pm$ 3.26	9.69 $\pm$ 4.19	7.65 $\pm$ 2.83

MAP = City Map; TURK = Turkish; TEL = Telephone Numbers; CONST = Construction Project; COMP = Company-Logos; OBJ = Objects; WORD = Wordlist



Hiermit versichere ich, Melanie Schichl, geb. 17.08.1981 in Zossen, die vorgelegte Dissertation mit dem Titel „Der Schlaf-Effekt im Tagschlafparadigma: Überprüfung der Interferenzhypothese“ selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle Zitate entsprechend kenntlich gemacht.

Die Dissertation wurde in der vorgelegten in ähnlicher Form in keiner anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keine erfolglosen Promotionsversuche unternommen.

Düsseldorf, den 19.04.2011

Melanie Schichl