

Aus der Klinik für Neurologie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. Detlef Kömpf

**Schlafinduzierte Lerneffekte auf das Sehen und
Handeln: Effekte metakontrast-maskierter Stimuli
auf das Verhalten und die Gehirn-Potentiale im
Vergleich von vor und nach
der Früh- bzw. Spät-Nacht-Phase**

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

vorgelegt von
Simon-Vitus Schuknecht
aus Eutin

Lübeck 2007

1. Berichterstatter/-in: Prof. Dr. rer. soc. Rolf Verleger

2. Berichterstatter/-in: Prof. Dr. med. Martin Driessen

Tag der mündlichen Prüfung: 04.08.2008

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 04.08.2008

gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach

- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

I.	Einleitung.....	5
I.1.	Vorwort.....	5
I.2.	Schlaf und Schlafstadien.....	6
I.3.	Gedächtnis.....	8
I.4.	Einführung in die Thematik.....	10
II.	Material und Methoden.....	14
II.1.	Probanden.....	14
II.2.	Errechnen der Winkelgrade.....	15
II.3.	Allgemeine Versuchsanordnung und Ablauf.....	16
II.3.1.	Demonstrationsdurchgang.....	17
II.3.2.	Kombinationen und Aufgabe im WR-Teil.....	18
II.3.3.	Kombinationen und Aufgabe im SD-Teil.....	19
II.3.4.	Ablauf für Probanden der 1. Nachthälfte.....	19
II.3.5.	Ablauf für Probanden der 2. Nachthälfte.....	21
II.4.	Salivetten.....	23
II.5.	Elektroenzephalogramm.....	23
II.5.1.	Versuchselektroenzephalogramm.....	25
II.5.2.	Schlafelektroenzephalogramm.....	26
II.6.	Datenanalyse.....	27
II.6.1.	Verhalten.....	27
II.6.2.	ERPs.....	28
II.6.3.	Schlaf.....	29
III.	Ergebnisse.....	29
III.1.	Schlaf.....	29
III.2.	Verhalten.....	30

III.3.	ERPs.....	37
III.4.	Subjektive Bewertung.....	45
IV.	Diskussion.....	46
IV.1.	Verhalten.....	46
IV.2.	ERPs.....	49
V.	Zusammenfassung.....	53
VI.	Literaturverzeichnis.....	54
VII.	Filmografie.....	58
VIII.	Anhang.....	59
IX.	Danksagung.....	66
X.	Lebenslauf.....	67

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ANOVA	analysis of variance/Varianzanalyse
AZ	Antwortzeit
EEG	Elektroenzephalogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
ERP	event-related potential/ereigniskorreliertes Potential
GH	groth hormone
HEOG	Horizontales Elektrookulogramm
LRP	lateral readiness potential/laterales Bereitschaftspotential
N2	N2-Komponente im Elektroenzephalogramm
NREM	none-rapid-eye-movement
REM	rapid-eye-movement
SD	Signal-Diskriminations-Teil/ signal-detection/ Direkte Aufgabe/discrimination
SOA	stimulus-onset-asynchrony
SWS	slow-wave-sleep
VEOG	Vertikales Elektrookulogramm
WR	Wahl-Reaktionsteil

I. Einleitung

I.1. Vorwort

Die populärkulturelle Vorstellung vom „Lernen im Schlaf“ ist stark von einer mystischen Denkweise geprägt. Den Wunsch des Menschen, sich Dinge im Schlaf -als Sinnbild der Mühelosigkeit- anzueignen, hat es schon immer gegeben. Unsere Kultur kennt einige verbreitete Ideen, wie man dem Lernen mit Hilfe des Schlafes auf die Sprünge helfen könnte: Man solle doch das zuvor gelesene Lehrbuch die Nacht über unter das Kopfkissen legen, um nur ein Beispiel zu nennen. Auch in Filme, TV-Serien und Literatur hat das Thema „Lernen im Schlaf“ Eingang gefunden. In der bekannten Dystopie „Schöne neue Welt“ von Aldous Huxley aus dem Jahre 1932 beschreibt der Autor eine fiktive Zukunft, in der Kinder während des Schlafes mit immerwiederkehrenden Tonbandaufzeichnungen beschallt werden, um soziales Norm- und Kastenverhalten zu erlernen. Huxley verwendet in seinem Buch für diese Art der nächtlichen Konditionierung den Begriff der Hypnopädie (vom griech. ὕπνος, *hypnos* = Schlaf und vom griech. Παιδεία, *paideia* = Erziehung, Bildung bzw. *pais* = Knabe, Kind), der die Vorstellung vom „Lernen im Schlaf“ noch einmal begrifflich elegant wiedergibt. Auch verschiedene TV-Serien bedienen sich immer wieder eines Szenarios, in dem mit Hilfe einer im Schlaf gehörten Kassette etwas gelernt werden soll, es dann aber anschließend durch Verwechslung von Kassetten zu skurrilen Situationen kommt, wie zum Beispiel in der Serie „The Simpsons“ mit der Folge „Bart’s Friend Falls in Love“ oder in der Serie „Friends“ mit der Folge „The One With The Hypnosis Tape“. In diesen Szenarien schwingt auch immer der Schrecken einer ungewollten nächtlichen Beeinflussung mit, der das Subjekt nicht entgehen kann. Selbst in einigen Hollywood-Produktionen ist die Thematik des „Lernen im Schlaf“ verarbeitet worden. Der Film „Demolition Man“ erzählt die Geschichte eines Polizisten, der zusammen mit seinem bössartigen Kontrahenten in einem futuristischem Gefängnis im Kälteschlaf die Zeit überdauert und während dieser Zeit mit verschiedenen Fähigkeiten und Informationen ausgestattet wird, um dann gestählt für den Kampf gegen das Böse in einer utopischen Zukunft zu erwachen (leider lernte er im Kälteschlaf nur Stricken und Ähnliches...).

Die gegenwärtige Schlaf- und Gedächtnisforschung unterscheidet sich jedoch stark von den populärkulturellen Vorstellungen. Im Focus der aktuellen Forschung stehen

Experimente, in denen Lernerfolge vor und nach Schlafphasen verglichen werden und in denen nicht etwa untersucht wird, ob überhaupt und, wenn ja, wie im Schlaf neue Lerninhalte in das Gedächtnis aufgenommen werden könnten, obwohl man auch diesen Hypothesen in späteren Experimenten einmal nachgehen könnte.

I.2. Schlaf und Schlafstadien

Der Schlaf als lebensnotwendige zirkadiane Phase des Menschen erfüllt gleichzeitig mehrere Aufgaben. Es werden im Wesentlichen drei Funktionen diskutiert: Eine energiesparende, eine restaurative und eine adaptive Funktion (Webb, 1988; Nicolau et al., 2000). Während des Schlafes finden Wachstumsprozesse und Zellregenerationen im Organismus statt. Des Weiteren wird durch den Schlaf der Energieverbrauch des Körpers stark reduziert und so können Phasen der Inaktivität, beim tagaktiven Menschen also meist während der Nacht, effizienter überstanden werden. Für die vorliegende Studie ist die adaptive Funktion des Schlafes von Hauptinteresse. Es ist bereits in vielen Studien der positive Einfluss von Schlaf auf die verschiedenen Gedächtnissysteme beschrieben worden und diese Studie reiht sich hier mit ein.

Das Gehirn befindet sich während des Schlafes nicht nur in einem Zustand des verminderten Stoffwechselumsatzes. Es weist im Schlaf auch verschiedene energetische Aktivitätsniveaus auf. Der REM-Schlaf (rapid-eye-movement) zum Beispiel ähnelt im Elektroenzephalogramm (EEG) dem Wachzustand. Der Schlaf ist also nicht nur eine reine Ruheperiode, sondern dient unter anderem auch der Konsolidierung und Verknüpfung von Gedächtnisinhalten. Es lassen sich im Schlaf verschiedene Schlafstadien im EEG gegeneinander abgrenzen. Grundsätzlich kann man den Schlaf in den REM-Schlaf und in den NREM-Schlaf (none-rapid-eye-movement) unterteilen. Der NREM-Schlaf lässt sich weiter unterteilen in die leichten Schlafstadien S1, S2 und in die Tiefschlafstadien S3 und S4 (Rechtschaffen & Kales, 1968). Die Tiefschlafphase wird auch SWS (slow-wave-sleep) genannt. Die Schlafphasen sind noch einmal in der Abbildung 1 dargestellt.

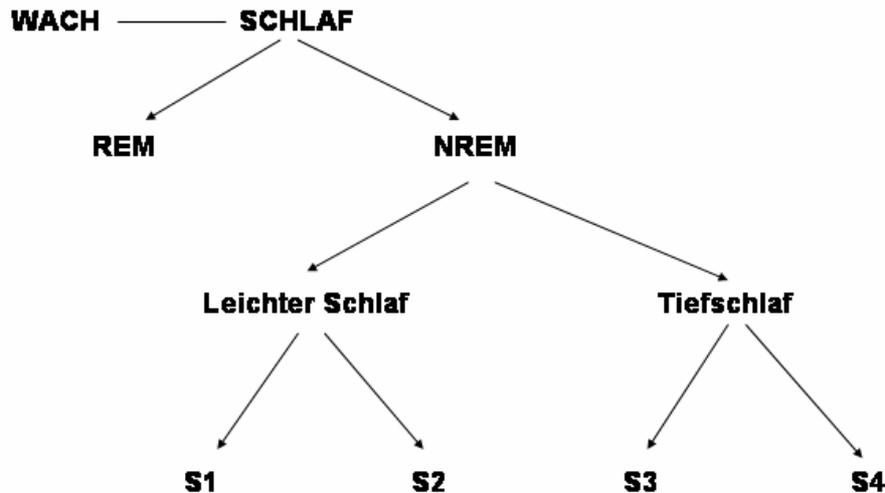


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt die Aufteilung der Schlafphasen auf REM und NREM und ihre jeweiligen Stadien.

Die einzelnen Stadien können durch ihre Frequenzen und Amplituden, unter Zuhilfenahme des Elektromyogramms (EMG) und des Elektrookulogramms (EOG), im EEG identifiziert werden (siehe Tabelle 1).

	Wach	S1	S2	S3	S4	REM
Fre- quenz	α -Aktivität (8-13Hz), gemischt	Vorwiegend 2-7 Hz, gemischt	Vorwiegend 2-7 Hz	20-50% δ (2 Hz)	>50% δ (2 Hz)	Vorw. 2-7 Hz, α - Aktivität
Ampli.	niedrig	50-75 μ V	50-75 μ V	\geq 75 μ V (δ)	\geq 75 μ V (δ)	niedrig
Ereig- nisse	—	Vertex- wellen	Spindeln, K- Komplexe	—	—	Sägezahn- Wellen
EMG	sehr hoch	< Wach- zustand	< Wach- zustand	< Wach- zustand	sehr niedrig	sehr hoch
EOG	Augenbewe- gungen	rollende Augenbewe.	—	—	—	REMs

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die EEG-Frequenzen, EEG-Amplituden und besonderen EEG-Ereignisse zusammen mit den EMG- und EOG-Charakteristika der einzelnen Schlafphasen. Auf die Erläuterung der einzelnen EEG-Ereignisse wird der Kürze wegen verzichtet. Die Charakteristika des Wachzustandes sind zum Vergleich mit abgebildet (nach Rechtschaffen und Kales, 1968).

Die Schlafphasen folgen einem Zyklus, der sich während des Schlafes, bei einer durchschnittlichen Schlafdauer von etwa 7,5 Stunden, vier-bis fünf-mal wiederholt. Ein Zyklus dauert damit in etwa 1,5 Stunden. Diese zyklischen Wiederholungen der

Schlafphasen werden bei der Schlaf-EEG-Auswertung in einem Hypnogramm dargestellt (siehe Abbildung 2). Die Tiefschlafphasen werden im Verlauf der Nacht immer weniger und gegen Morgen überwiegt dann der REM-Schlaf. Deshalb kann man die Nacht grob in eine erste Nachthälfte, mit viel SWS, und eine zweite Nachthälfte, mit viel REM-Schlaf, einteilen. Im Laufe des menschlichen Lebens verändert sich das Verhältnis von REM- zu SWS-Schlaf. Während bei Neugeborenen und Kleinkindern der REM-Schlaf noch bis zu 50% der Gesamtschlafzeit ausmacht, sind es bei Erwachsenen noch etwa 20% (Schmidt, Thews & Lange, 2000).

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Schlaf verschiedene Aufgaben erfüllt und einen Verbund individueller Einzelphasen darstellt.

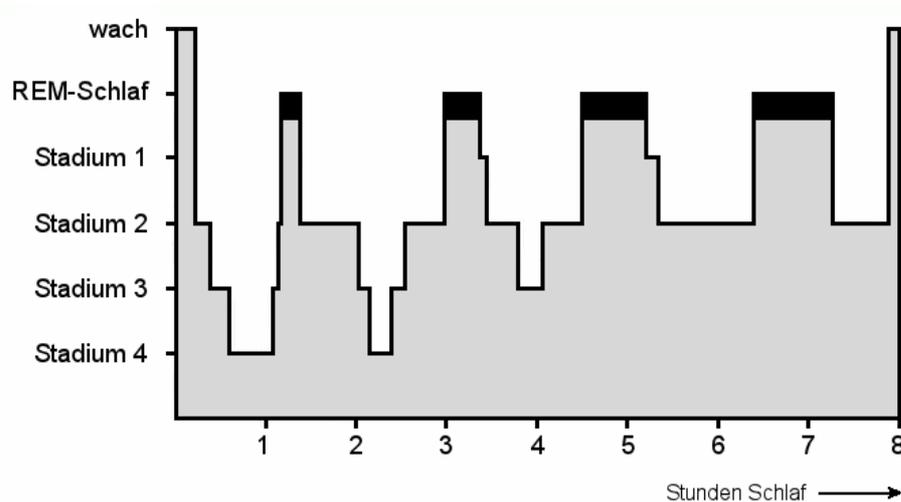


Abbildung 2: Darstellung der Schlafphasenzyklen und ihrer Schlafstadien in einem idealisierten Hypnogramm.

I.3. Gedächtnis

Das Langzeitgedächtnis kann in zwei grundsätzlich verschiedene Systeme unterteilt werden. Es gibt hippokampusabhängige und hippokampusunabhängige Gedächtnisleistungen des Langzeitgedächtnisses (auf das Kurzzeitgedächtnis wird hier nicht weiter eingegangen, da es in unserer Studie von keiner Relevanz ist). Sie werden auch entsprechend als deklaratives und nondeklaratives Gedächtnis bezeichnet. Das deklarative Gedächtnis ist für die Speicherung von Fakten (semantisches Gedächtnis) und von Ereignissen (episodisches Gedächtnis) zuständig. Das nondeklarative Gedächtnis

umfasst eine Reihe von unterschiedlichen Gedächtnissystemen. Es beinhaltet das prozedurale Gedächtnis für motorische und sensorische Fertigkeiten und Gewohnheiten, das Priming, das klassische Konditionieren und das nichtassoziative Lernen (siehe Abbildung 3). Diese unterschiedlichen Systeme sind in verschiedenen Hirnstrukturen, wie zum Beispiel dem Striatum oder dem Neokortex, beheimatet und funktionieren auch bei einem Hippocampusausfall (Cohen und Squire, 1980; Squire, 1992).

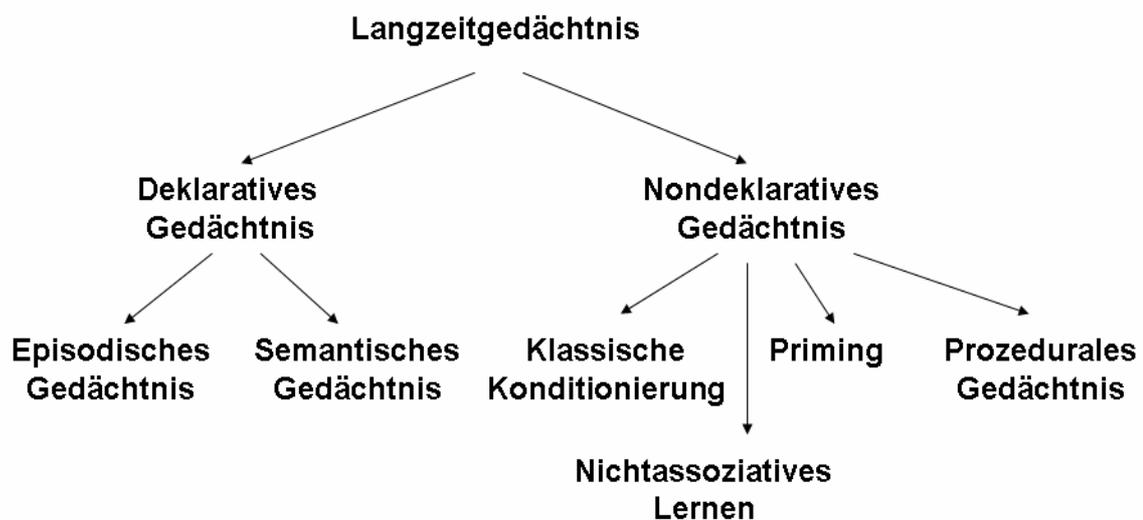


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die systematische Einteilung des Langzeitgedächtnisses (nach Squire, 1998).

Die unterschiedlichen Schlafphasen haben einen unterschiedlichen Einfluss auf die verschiedenen Gedächtnisarten bei der Konsolidierung neuer Gedächtnisinhalte. Nach Born & Plihal (2000) wirkt sich der slow-wave-sleep (SWS) positiv auf das deklarative Gedächtnis und der REM-Schlaf positiv auf das nondeklarative Gedächtnis aus. Es ist aber bereits an dieser Stelle anzumerken, dass die Verknüpfung von Gedächtnis und Schlaf gegenwärtig sehr kontrovers diskutiert wird. Die Intensität der Speicherung von neuen Gedächtnisinhalten hängt zudem stark vom Inhalt des zu Erlernenden ab (sinnlose vs. sinnvolle deklarative Inhalte, motorische Aufgaben, etc.). An der Gedächtnisbildung ist eine Reihe von Hormonen beteiligt. Es sei hier besonders das Kortisol erwähnt, dessen Ausschüttung über die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrindenachse während des SWS inhibiert und während des REM-Schlafes vermehrt ausgeschüttet wird (Born & Plihal, 2000). Das GH (growth hormone) aus der somatotropen Achse verhält sich dazu genau umgekehrt. Es liegt dementsprechend nahe, dass diese beiden Hormonspiegel mit

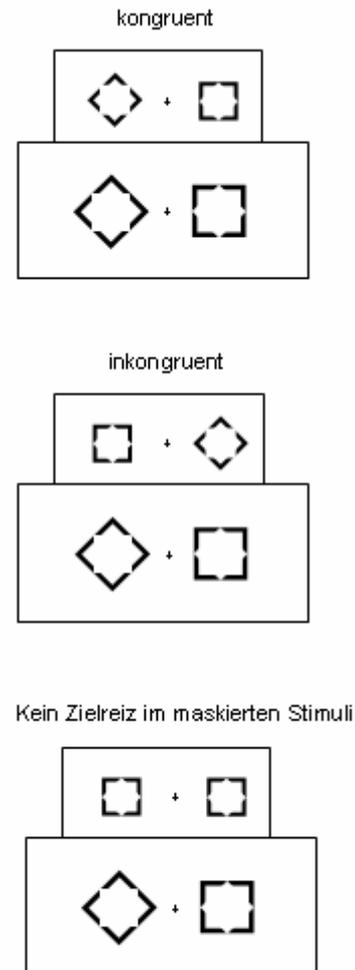
den verschiedenen Gedächtnisleistungen in der Nacht korrelieren und an der Gedächtnisbildung beteiligt sind.

I.4. Einführung in die Thematik

Durch die wiederholte Auseinandersetzung mit Objekten und Ereignissen lernt der Mensch sein Verhalten zu verändern und effizienter zu gestalten. Die vorliegende Studie konzentriert sich in diesem Zusammenhang auf die Bedeutung des Schlafes. Es gibt eine Reihe von Hinweisen dafür, dass der Schlaf nützlich für das Erlernen der Identifizierung von im peripheren Gesichtsfeld präsentierten Stimuli ist. Karni et al. (1994), Gais et al. (2000) und Stickgold et al. (2000) konnten für abweichende Muster innerhalb maskierter Texturen zeigen, dass diese Verbesserungen spezifisch für das trainierte Halbfeld oder den Quadranten des visuellen Feldes sind. Dies entsprach einer quadrantenspezifischen Veränderung der Aktivität im visuellen Kortex, die durch perzeptuelles Lernen induziert wurde (Schwartz et al., 2002). Ludwig und Skrandies (2002) konnten den gleichen Effekt wie Gais et al. (2000) und Karni et al. (1994) mit Hilfe von Vernier-Linien im visuellen Kortex darstellen. In der gegenwärtigen Studie stellte man sich die Frage, ob es schlafinduzierte Verbesserungen für die Verarbeitung von metakontrast-maskierten Stimuli gibt (Breitmeyer & Ögmen, 2006). Diese Ausweitung der Forschung auf andere Paradigmen könnte hilfreich für die Auflösung konflikthafter Ergebnisse vorangegangener Studien sein: In der Studie von Karni et al. (1994) war das Schlafstadium des rapid-eye-movement (REM) besonders günstig für das perzeptuelle Lernen, während in der Studie von Gais et al. (2000) die frühe Nachtphase mit einem hohen Anteil an slow-wave-sleep (SWS) das perzeptuelle Lernen förderte. Stickgold et al. (2000) ließen ihre Probanden die gesamte Nacht schlafen und korrelierten dann die in den Schlafstadien verbrachte Zeit mit dem Lernerfolg und fanden heraus, dass die Verhaltensverbesserung sowohl vom SWS der Früh-Nacht-Phase als auch vom REM-Schlaf der Spät-Nacht-Phase abhängen. Es steht außer Frage, dass der Gesamt-Nacht-Schlaf die besten Lernverbesserungen mit sich bringt, aber die Rollen bestimmter Schlafstadien, die für das perzeptuelle Lernen zuständig sein könnten, werden weiterhin kontrovers diskutiert. Dementsprechend sind auch die dem Lernen zugrunde liegenden Mechanismen der schlafabhängigen Verbesserungen weiterhin nicht genau geklärt (Censor et al., 2006).

In dem Bemühen, diese zum Teil widersprüchliche Datenlage weiter aufzuklären, wurde in dieser Studie auf das von Klotz und Neumann (1999) entwickelte Paradigma, welches bereits in vorherigen Arbeiten (Jaśkowski et al., 2002) verwendet wurde, zurückgegriffen. Dieses Paradigma fand noch keine Anwendung in der Schlafforschung. In diesem Paradigma wird ein Paar gut sichtbarer Stimuli präsentiert, ein Quadrat und ein Karo, von denen eins auf der linken und eins auf der rechten Seite einer mittigen Fixationshilfe dargestellt wird. Diesem Paar geht ein kleineres Paar von Stimuli voraus, die genau in die inneren Umrisse der nachfolgenden sichtbaren Stimuli passen (siehe Abbildung 4). Dieses räumliche Arrangement sorgt dafür, dass die kleineren Stimuli, welche als kurzes Aufflackern wahrgenommen werden, durch Metakontrast maskiert werden (Breitmeyer & Ögmen, 2006). Diese Maskierung ist stark abhängig vom Zeitintervall zwischen den beiden Paaren der Stimuli. In der gegenwärtigen Studie wurden Intervalle von 50 ms, 80 ms und 120 ms in zufälliger Reihenfolge innerhalb eines Versuchsdurchlaufes verwendet. Im ersten Abschnitt des Versuchsteils (Wahl-Reaktions-Teil/WR-Teil) mussten die Probanden eine Taste auf der Seite (links oder rechts auf der Tastatur) drücken, auf der ein Karo im klar sichtbaren großen Stimulus-Paar zu sehen war. In diesem Fall waren also die großen Stimuli die Zielreize und die vorausgegangenen maskierten kleineren Stimuli irrelevant. Wir erwarteten aber von den kleinen Stimuli, dass sie als Bahnungsreize wirken würden. Sie sollten die Reaktion der Probanden beschleunigen, wenn das Karo im kleinen maskierten Stimuli-Paar auf der selben Seite wie das Karo im nachfolgenden größeren Stimuli-Paar auftaucht (kongruente Konstellation), oder vice versa die Reaktion des Probanden verzögern, wenn das Karo im kleinen Stimuli-Paar auf der anderen Seite als im großen Stimuli-Paar steht (inkongruente Konstellation). Diese Effekte sollten mit ansteigendem Zeitintervall zwischen den Reizpaaren zunehmen (Klotz & Neumann, 1999; Jaśkowski et al., 2002; Vorberg, 2003). Im zweiten Versuchsteil (Signal-Diskriminations-Teil/SD-Teil) sollten die Probanden durch Tastendruck bestimmen, ob ein Karo im maskierten kleinen Stimuli-Paar vorkam oder nicht. Die Seite, auf der es stehen konnte, war irrelevant, es ging nur darum, ob ein Karo vorkam oder nicht. In diesem Versuchsteil waren also die kleinen Stimuli die Zielreize und die großen, gut sichtbaren Stimuli dienten ausschließlich der Maskierung der kleineren Stimuli. Um eine einheitliche Terminologie für beide Aufgabentypen zu benutzen, werden die beiden Paare im weiteren Verlauf maskierte Stimuli oder auch Bahnungsreizpaar (Bahnungsreiz) und sichtbare Stimuli oder auch Hauptreizpaar (Hauptreiz) genannt.

Abbildung 4: Die Abbildung zeigt die Sequenzen von maskierten und sichtbaren Stimuli, exemplarisch für sichtbare Stimuli mit einem Karo auf der linken Seite und einem Quadrat auf der rechten Seite. Kongruente und inkongruente Durchgänge werden mit derselben Wahrscheinlichkeit präsentiert, jeder mit 50% im WR-Teil, und jeder mit 25% im SD-Teil, da hier die restlichen 50% aus Durchgängen bestehen, in denen kein Karo in den maskierten Stimuli vorkommt. Die maskierten Stimuli (in der Abbildung die kleineren Formen) wurden für 10 ms präsentiert, das Intervall zwischen Bahnungs- und Hauptreizpaaren betrug 50 ms, 80 ms oder 120 ms. Das sichtbare Hauptreizpaar wurde dann 100 ms lang präsentiert.



Das hier beschriebene Paradigma ermöglicht die separate Messung von Effekten des Schlafes, sowohl im Bezug auf die direkte Identifikation als auch auf die indirekte Bahnung. Es wurde das Nachthälften-Design verwendet, das auch Gais et al. (2000) anwandten. Die Probanden mussten die Aufgaben in zwei Sitzungen bearbeiten, die durch drei Stunden Schlaf unterbrochen wurden. Die Sitzungen fanden für die Probanden der frühen Nachthälfte um 22:30 Uhr und um 03:00 Uhr nachts statt. Die Probanden der späten Nachthälfte mussten die Aufgaben um 03:00 Uhr nachts und um 07:30 Uhr in der Früh bearbeiten. Auch hier wurde drei Stunden dazwischen geschlafen. Die Probanden der späten Nachthälfte schliefen zusätzlich noch drei Stunden vor dem ersten Versuchsdurchgang. Durch dieses Studiendesign war es möglich, die verschiedenen Effekte des Früh-Nacht-Schlafes, reich an slow-wave-sleep (SWS), und des Spät-Nacht-Schlafes, reich an REM-Schlaf-Phasen, auf die Identifizierung maskierter Stimuli und auf Bahnungseffekte der maskierten Stimuli hin zu untersuchen. Vorausgegangene Studien

haben unter Verwendung dieses Designs günstige Effekte des SWS auf das explizite Lernen und günstige Effekte des REM-Schlafs auf das motorische Lernen gezeigt. Wie bereits oben erwähnt wurde, sind die Hinweise für die verschiedenen Effekte von SWS und REM-Schlaf auf das visuelle Lernen kontrovers (Karni et al., 1994; Gais et al., 2000; Vorberg et al., 2000). Es wurde vermutete, dass sich die Mitwirkungen des visuellen Unterscheidungsvermögens und des visuo-motorischen Bahnungseffektes auf die Aufgabendurchführung in den beiden Studien unterscheiden und dass sich ein klareres Bild ergeben könnte, wenn man diese beiden Aspekte trennen würde. Hierfür wurde eine Trennung zwischen dem Signal-Diskriminations-Teil und dem Wahl-Reaktions-Teil postuliert. Während des SWS sollte der Lerneffekt zur Unterscheidung der maskierten Stimuli ansteigen, während beim REM-Schlaf der visuo-motorische Primingeffekt der maskierten Stimuli zunehmen sollte. Es wurden drei verschiedene Zwischenintervalle (50 ms, 80 ms, 120 ms) benutzt, um abgestufte Veränderungen, die größte für das längste Intervall und die kleinste für das kürzeste Intervall, zu erhalten. Also sollten in jeder Aufgabe (SD-Teil und WR-Teil) verschiedene Effekte des Schlafes auf Unterschiede zwischen der Früh-Schlaf-Gruppe und der Spät-Schlaf-Gruppe in Interaktionen der Sitzung (vor vs. nach der kritischen Schlafperiode) x Gruppe (Früh- vs. Spät-Nacht) x Intervall (50, 80, 120 ms) hin untersucht werden. Dieser Term der Varianz-Analyse ist das Kernstück der vorliegenden Studie.

Um die neuronalen Substrate der erwarteten Verhaltensänderungen zu untersuchen, wurden ereignisbezogene EEG-Potentiale (ERPs) bei den Probanden gemessen. Der Fokus lag dabei auf den direkten Korrelaten der erwarteten Effekte, auf der einen Seite auf ERPs, die die visuelle Diskrimination im Signal-Diskriminations-Teil (SD-Teil) reflektieren, und auf der anderen Seite auf ERPs, die das motorische Priming im Wahl-Reaktionsteil (WR-Teil) wiedergeben. Das wichtigste ERP-Maß für visuelle Diskrimination ist die N1 Komponente, die am Hinterkopf über dem visuellen Kortex abgeleitet wird (Vogel & Luck, 2000). In der Tat gibt es eine Reihe von Studien, welche von der Veränderung der N1 und ihrer Differenzierung im Verlauf des Lernens berichten (Kiefer et al., 2007; Scott et al., 2006; Wang & Suemitsu, 2007; Wills et al., 2007). Es wurde erwartet, dass sich die N1 Komponente, evoziert durch die maskierten Stimuli im SD-Teil, in den signalpräsenten und signalabwesenden Durchgängen unterscheidet und dass diese Differenz, die möglicherweise die Grundlage der expliziten Identifikation darstellt, über die Sitzungen ansteigt. Eine Änderung wurde besonders in der Früh-Nacht-Gruppe erwartet.

Es gibt zwei wichtige ERP-Maße des motorischen Primings, welche durch maskierte Stimuli induziert werden. Eine davon ist das laterale Bereitschaftspotential (LRP), welches zu jedem Zeitpunkt die Balance der Aktivität zwischen den beiden motorischen Kortizes abbildet (Dehaene et al., 1998; Leuthold & Kopp, 1998; Eimer & Schlaghecken, 1998; Jaśkowski et al., 2002; Jaśkowski et al., 2007; Praamstra & Seiss, 2005). Das andere Maß ist die anteriore N2, die durch die sichtbaren Stimuli bei inkongruenten Sequenzen von maskierten und sichtbaren Stimuli (das heißt, wenn der Zielreiz die Seite änderte) evoziert wird. Sie spiegelt die Registrierung von konflikthafter Informationen wider (Jaśkowski et al., 2003; Praamstra & Seiss, 2005; Verleger & Jaśkowski, 2007). Es wurde erwartet, dass diese zwei im WR-Teil evozierten Komponenten das visuo-motorische Priming reflektieren würden und dass sie über die beiden Sitzungen ansteigen sollten. Dieser Anstieg wurde besonders in der Spät-Nacht-Gruppe erwartet.

II. Material und Methoden

II.1. Probanden

Es wurden 49 Probanden für die Studie rekrutiert. Hiervon waren alle männlich. Die Probanden waren zwischen 20 und 34 Jahre alt (Mittelwert des Alters war 25 Jahre). Die Probanden waren Studenten der Universität zu Lübeck, Studenten der Fachhochschule Lübeck oder hatten Abitur und ein Studium abgeschlossen. Laut eigenen Angaben waren alle Probanden Nichtraucher und nahmen keine Medikamente oder Drogen zu sich. Sie hatten weder in den letzten sechs Wochen nachts gearbeitet noch am Nachmittag des Tages, an dem das Experiment stattfinden sollte, Cola, Kaffee oder andere koffeinhaltige Getränke zu sich genommen. Es durften keinerlei Schlafstörungen vorliegen. Des Weiteren wurde in einem Eingangsfragebogen (siehe Anhang) geklärt, ob der Proband Rechts- oder Linkshänder ist. Alle Probanden waren gesund und litten nicht unter akuten oder chronischen Erkrankungen. Alle Probanden waren normalsichtig oder trugen eine Brille, die einen normalen Visus gewährleistete. Drei Probanden waren Linkshänder, bei weiteren dreien war die Ausrichtung unbekannt. Die restlichen 43 Probanden waren Rechtshänder.

Dies entspricht einer Verteilung von 88 Prozent Rechtshändern, 6 Prozent Linkshändern und 6 Prozent Probanden mit unbekannter Händigkeit. Die Probanden bestätigten ihre Einwilligung in das Experiment mit einer schriftlichen Einverständniserklärung. Sie wurden mit 70 Euro und einem zusätzlichen Bonus von 5 Euro entlohnt. Der Bonus wurde in Aussicht gestellt, um auch in der Nachtphase eine konzentrierte Mitarbeit zu gewährleisten. Die Probanden hatten im Rahmen einer Eingewöhnungsnacht vor dem Beginn der eigentlichen Experimentalnacht bereits einmal im Schlaflabor genächtigt, um eine Gewöhnung an die Elektroden auf dem Kopf im Schlaf und damit eine störungsfreie Nachtruhe zur artefaktfreien Auswertung der späteren Schlaf-EEG Daten zu gewährleisten. Von den 49 Probanden mussten 15 von der Analyse des Verhaltens ausgeschlossen werden. Bei zwei Probanden, jeweils einem aus der Früh-Nacht-Gruppe und aus der Spät-Nacht-Gruppe, fehlten die Daten des zweiten Teils des Versuchs. Fünf Probanden hatten die Instruktionen zur Bearbeitung der Versuche nicht richtig verstanden. Zwei Probanden aus der Früh-Nacht-Gruppe konnten nicht einschlafen oder die Tief-Schlaf-Phase erreichen, und zwei weitere Probanden hatten guten SWS, aber zu viel REM-Schlaf. Bei weiteren vier Probanden der Spät-Nacht-Gruppe waren die Schlaf-EEG-Daten nicht auswertbar. Es flossen also die Daten von insgesamt 34 Probanden in die Untersuchung des Verhaltens ein. Es gab 16 Probanden in der Früh-Nacht-Gruppe und 18 Probanden in der Spät-Nacht-Gruppe. Zwei weitere Probanden mussten von der Analyse der EEGs ausgeschlossen werden, weil die Aufzeichnung der ereigniskorrelierten Potentiale, im weiteren als ERP (event-related potential) abgekürzt, aus technischen Gründen fehlschlug. Letztendlich wurden die ERPs von 15 Probanden in der Früh-Nacht-Gruppe und die ERPs von 17 Probanden in der Spät-Nacht-Gruppe ausgewertet. Das Durchschnittsalter der nun noch eingebrachten Probanden sank damit auf 24 Jahre.

II.2. Errechnung der Winkelgrade

Im Verlauf der Beschreibung der Versuchsanordnung werden Größenangaben auf dem Monitor in Winkelgraden ($^{\circ}$) angegeben. Die Winkelgrade errechnen sich aus der Formel für den Kreisumfang. Der Kreisumfang U entspricht 2-mal π mal r ($U=2\pi r$). Man kann sich den Probanden in der Mitte eines transversal ausgerichteten Vollkreises von 360° vorstellen. Der Monitor befindet sich auf dem Umfang dieses Kreises. Es ergibt sich für

r ein Wert von 60 cm (der Abstand des Probanden zum Monitor). Bei einem Vollkreis von 360° entspricht 1° dem Kreisumfang geteilt durch 360. Bei uns errechnet sich für den Umfang näherungsweise ein Wert von 3,77 m ($2 \times \pi \times 0,6$). Diese 3,77 m geteilt durch 360 ergeben gerundet 0,01 m. Ein Zentimeter auf dem Bildschirm entspricht also einem Winkelgrad. Dies gilt sowohl für die auf der X- als auch für die auf der Y-Achse skalierten Werte, da man den gedachten Kreis um den Probanden als Zentrum an Hand einer sagittalen Achse zwischen Kopf und Bildschirm um 180° rotieren und das Rechenverfahren erneut anwenden kann. Die Werte und damit der Umrechnungsfaktor bleiben dabei gleich.

II.3. Allgemeine Versuchsanordnung und Ablauf

Die Studie bestand aus zwei Studienarmen, auf die die Probanden zufällig verteilt wurden. Es gab eine Frühbedingung und eine Spätbedingung. Die Bedingungen unterschieden sich in der Anordnung der Lern- und Prüfphase im Bezug auf die erste und zweite Nachthälfte. Die genauen Zeitabläufe für die beiden Studienarme werden später im Text und in einem Ablaufplan dargestellt.

Die Probanden nahmen in einem gepolsterten Armlehnsessel Platz. Dieser stand in einem schalldichten und abgedunkelten Raum. Der Versuchsraum war mit einem Tisch, einem 17-Zoll Monitor, Tastatur und Maus ausgestattet. Die Probanden mussten ausschließlich zwei Reaktionstasten auf der Tastatur benutzen. Diese waren die linke Strg-Taste links unten auf der Tastatur und die rechte Enter-Taste ganz rechts unten auf der Tastatur. Der Proband war 60 Zentimeter vom 17-Zoll Monitor entfernt. Die Bildschirmfrequenz betrug 100 Hz und gewährleistete eine zeitgerechte Wiedergabe der verschiedenen Intervalle von 50, 80 und 120 ms (stimulus-onset-asynchronies (SOAs) von 60, 90 und 130 ms). Das Programm Presentation®, welches die visuellen Reize auf den Monitor sandte, lief auf einem Computer außerhalb des Versuchsraumes. Die Lernphase gliederte sich in drei Teile. Zuerst wurde eine Demonstration der Bahnungs- und Hauptreize, dann der Wahl-Reaktions-Teil, im Folgenden als WR-Teil abgekürzt, und anschließend der Signal-Diskriminations-Teil, im Folgenden als SD-Teil abgekürzt, eingespielt. Der Bildschirmhintergrund war die ganze Zeit über weiß. Die Bahnungs- und Hauptreize wurden schwarz dargestellt. In der Mitte des Bildschirms befand sich die

ganze Zeit über als Fixationshilfe ein kleines rotes Kreuz. Dieses Fixationskreuz hatte eine Größe von $0,2^\circ$ mal $0,2^\circ$. Das Bildpaar des Bahnungsreizes wurde für 10 ms gezeigt. Diese 10 ms entsprechen einem Bildschirmtakt, da bei einer Wiederholungsrate des Bildaufbaus von 100 Hz eine Wiederholung einer Hundertstelsekunde entspricht (= 10 ms). Anschließend folgte das Hauptreizpaar, welches für 100 ms gezeigt wurde. Die Intervalle zwischen dem Beginn des Bahnungsreizes und dem Beginn des Hauptreizes betrug 50 ms, 80 ms oder 120 ms. Sie variierten zufällig über die Versuchsdurchgänge. Nach Eingabe durch den Probanden begann nach 800 ms im WR-Teil und nach 1200 ms im SD-Teil der nächste Durchgang, wieder bestehend aus Bahnungs- und Hauptreizpaar. Sowohl im WR-Teil als auch im SD-Teil musste der Proband 360 Durchgänge bearbeiten. Die Reize wurden aus einer Studie von Klotz und Neumann (1999) übernommen. Die Bahnungsreize bestanden aus einem Quadrat mit der Kantenlänge von $1,8^\circ$ und einem Karo, welches aus dem um 45° gedrehten Quadrat gebildet wurde. Die Hauptreize bestanden aus einem Quadrat mit der Kantenlänge von $2,8^\circ$ und einem Karo mit den Kantenlängen von $2,8^\circ$, jeweils mit einer zu den Bahnungsreizen kongruenten Aussparung in der Mitte (siehe Abbildung 4). Das Zentrum der Bahnungs- und Hauptreize lag 3° rechts und links neben der Bildschirmmitte. Die Bildschirmmitte wurde durch den Überschneidungspunkt der Balken des Fixationskreuzes gebildet. Das Karo, ob nun im Bahnungs- oder Hauptreizpaar, war in allen Aufgaben als relevanter Zielreiz definiert.

II.3.1. Demonstrationsdurchgang

Im Demonstrationsdurchgang wurden dem Probanden im Beisein des Versuchsleiters Kombinationen von Bahnungs- und Hauptreizen auf dem Bildschirm eingespielt. Die Reize wurden dabei in einem besonderen Tempo, das heißt einer Darstellung des Bahnungsreizpaares für 10 ms mit einem hier nachfolgenden stark verlängerten Intervall von 700 ms und anschließender Darstellung des Hauptreizpaares für 100 ms, eingespielt. Es wurde den Probanden im Demonstrationsdurchgang erklärt, dass es sich bei dem kurzen Aufblitzen, also dem Bahnungsreizpaar, um einen relevanten Reiz handele. Dieser Vorgang wurde so lange fortgesetzt, bis der Proband den Unterschied zwischen den Reizen verstanden und das Karo als relevanten Zielreiz begriffen hatte. Der Proband sollte in dem Demonstrationsvorgang auf das erste Reizpaar, also auf das Bahnungsreizpaar, achten und

angeben, ob in diesem ein Karo vorkam oder nicht. Es war irrelevant, ob das Karo links oder rechts vorkam, entscheidend war nur, ob es überhaupt vorkam (siehe Abbildung 4). Die Zeit zwischen dem Bahnungsreizpaar und dem Auftreten des Hauptreizpaars, sprich des Intervalls, war lang genug, um den Probanden den Unterschied zwischen den Reizpaaren erkennen zu lassen. Der Demonstrationsdurchgang fand ein einziges Mal vor dem ersten WR-Teil, also vor der relevanten Schlafphase, statt. Vor dem SD-Teil gab es keinen weiteren Demonstrationsdurchgang. Der spätere SD-Teil wurde natürlich nicht in Zeitlupe, sondern in einem normalen Tempo mit den vorher beschriebenen Intervallen von 50, 80 und 120 ms durchgeführt.

II.3.2. Kombinationen und Aufgabe im WR-Teil

Im WR-Teil sollte der Proband durch Drücken der Reaktionstasten möglichst schnell angeben, auf welcher Seite im *Hauptreizpaar* das Karo zu sehen war (siehe Abbildung 4). Das Hauptreizpaar bestand immer aus einer irrelevanten und einer relevanten Form, d.h. einem Quadrat und einem Karo. Die relevante Form konnte links oder rechts vom Mittelpunkt stehen. Die linke Reaktionstaste stand für die linke Seite und die rechte für die rechte Seite. Auch das Paar des Bahnungsreizes bestand aus einer relevanten und einer irrelevanten Form. Die relevante Form im Bahnungsreiz konnte an der gleichen Stelle wie die relevante Form im Hauptreiz lokalisiert sein (kongruente Bedingung; Abb.4) oder aber auf der gegenüberliegenden Seite (inkongruente Bedingung; Abb.4). Mit der Variation der Intervalle über 50, 80 und 120 ms ergeben sich also 12 verschiedene Kombinationen. Jede dieser möglichen Kombinationen wurde zufällig über das Experiment 30-mal wiederholt. Hierdurch ergaben sich die 360 Durchgänge. Der WR-Teil wurde einmal in der Lernphase vor der relevanten Schlafphase und in der Prüfphase nach dem Schlafen vom Probanden bearbeitet. Der WR-Teil dauerte durchschnittlich 11 Minuten pro Proband.

II.3.3. Kombinationen und Aufgabe im SD-Teil

Im SD-Teil sollte der Proband durch Drücken der Reaktionstasten diskriminieren, ob im Bahnungsreizpaar ein Karo zu sehen war oder nicht (siehe Abbildung 4). Die linke Reaktionstaste stand für „ja“ und die rechte Reaktionstaste für „nein“. Das Paar des Bahnungsreizes konnte aus einem Karo zusammen mit einem Quadrat oder nur aus zwei irrelevanten Formen, also zwei Quadraten, bestehen. Die relevante Form konnte links oder rechts erscheinen. Das Hauptreizpaar bestand immer aus einer irrelevanten und einer relevanten Form, welche ebenfalls links oder rechts vom Mittelpunkt stehen konnte. In 50% der Fälle gab es keine relevante Form im Bahnungsreiz, in den anderen 50% war ein Karo vorhanden, davon (für die Antwort irrelevant) in der Hälfte der Fälle kongruent und in der anderen Hälfte inkongruent. Mit der Variation der Intervalle über 50, 80 und 120 ms ergeben sich 12 verschiedene Kombinationen mit relevanter Form im Bahnungsreiz und sechs verschiedene Kombinationen ohne relevante Form im Bahnungsreiz. Die zwölf Kombinationen wurden 15-mal zufällig wiederholt, die sechs Kombinationen 30-mal (um 50% der Fälle ohne relevante Form im Bahnungsreiz zu gewährleisten). Hierdurch ergaben sich erneut 360 Durchgänge. Die Durchgänge wurden in zufälliger Abfolge wiedergegeben. Es gab kein Feedback an den Probanden nach den Durchgängen. Der SD-Teil wurde einmal in der Lernphase vor der relevanten Schlafphase und einmal in der Prüfphase vom Probanden bearbeitet. Der SD-Teil fand immer erst nach dem WR-Teil statt. Der SD-Teil dauerte durchschnittlich 21 Minuten pro Proband.

II.3.4. Ablauf für Probanden der 1. Nachthälfte

Die Probanden der 1. Nachthälfte wurden gegen 20:00 Uhr in das Schlaflabor einbestellt. Zuerst mussten die Probanden die Einverständniserklärung und den Fragebogen zu Probandendaten (siehe Anhang) ausfüllen. Anschließend wurde ihnen die EEG-Haube auf den Kopf geklebt. Die Lernphase folgte dann um 21:30 Uhr. Direkt vor der Lernphase mussten die Probanden einen Kurzfragebogen (siehe Anhang) und den PANAS-Fragebogen-1 (siehe Anhang) ausfüllen. PANAS ist die Abkürzung für „Positive And Negative Affect Schedule“. Der Kurzfragebogen ermöglichte die Erfassung der aktuellen Befindlichkeit des Probanden zu einem bestimmten Zeitpunkt. Es wurden im

Kurzfragebogen sieben Befindlichkeitsformen mit Hilfe einer fünfstufigen nominalskalierten Skala abgefragt. Der PANAS-Fragebogen diente der Erfassung der aktuellen Gefühle und Empfindungen. Zur Erfassung von 20 Gefühlen und Empfindungen im PANAS-Fragebogen wurde ebenfalls eine fünfstufig nominalskalierte Skala benutzt. Die Kurz- und PANAS-Fragebögen waren entsprechend ihrer Position im Experiment nummeriert. Anschließend mussten die Probanden eine Cortisolsalivette lutschen. Auch die Salivetten waren entsprechend nummeriert. Dann nahmen sie im Versuchsraum Platz, die EEG-Kabel wurden eingesteckt und die Lernphase begann. Vor dem für diese Arbeit relevanten Teil der Lernphase mussten alle Probanden im Rahmen einer anderen Studie noch ein Zahlenexperiment bearbeiten. In diesem mussten optisch dargebotene Zahlenreihen verrechnet werden. Diese Zahlenexperiment-Lernphase erstreckte sich in etwa über einen Zeitrahmen von 20 Minuten. Im Anschluss daran begann die Lernphase für das Maskierungsexperiment.

Nach der aus dem Demonstrations-, WR- und SD-Teil bestehenden Lernphase mussten die Probanden einen weiteren Kurzfragebogen ausfüllen und die nächste Salivette lutschen. Anschließend wurden sie zu Bett gebracht. Nach dem Anschließen der EEG-Kabel für die Schlafableitung wurde das Licht gelöscht. Die Probanden wurden drei Stunden nach dem Zeitpunkt des Einschlafens geweckt, in der Regel gegen 02:00 Uhr. Noch im Bett mussten sie eine Salivette lutschen. Nach 15 Minuten, in denen die Probanden im Versuchsraum saßen und wieder je einen Kurz- und einen PANAS-Fragebogen ausfüllten, musste erneut eine Salivette gelutscht werden. Die EEG-Kabel wurden einsteckt und die Prüfphase begann mit dem WR-Teil und dem darauf folgenden SD-Teil. Es gab keinen weiteren Demonstrationsdurchgang. Anschließend folgte eine weitere Bearbeitung von Zahlenreihen im Zuge des bereits oben erwähnten Zahlenexperimentes. Sie konnte von wenigen Minuten bis zu einer Stunde dauern. Die Prüfphase war in der Regel gegen 03:45 Uhr beendet. Nach der Prüfphase folgten der letzte Kurzfragebogen, die letzte Salivette, der „Fragebogen nach zweiter Computersitzung“ (siehe Anhang) und der Abschlussfragebogen (siehe Anhang). Im „Fragebogen nach zweiter Computersitzung“ sollte der Proband die Qualität seines Schlafes mit Hilfe einer fünfstufig nominalskalierten Skala beschreiben. Des Weiteren wurde er nach Träumen und Gedanken, die im Zusammenhang mit den Aufgaben gestanden haben, befragt. Im Abschlussfragebogen sollte der Proband anhand von fünfstufig nominalskalierten Skalen die Experimentalnacht, die Schwierigkeit und die Belastung der Aufgaben beurteilen. Im Anschluss erhielt der Proband noch die Möglichkeit, etwas zu seiner Motivation zu schreiben,

Verbesserungsvorschläge oder sonstige Anmerkungen zu machen. Nach dem Entfernen der EEG-Haube konnten die Probanden gehen oder bis zum Morgen weiterschlafen.

II.3.5. Ablauf für Probanden der 2. Nachthälfte

Die Probanden der 2. Nachthälfte wurden gegen 22:00 Uhr in das Schlaflabor bestellt. Zuerst mussten die Probanden die Einverständniserklärung und den Fragebogen zu Probandendaten (siehe Anhang) ausfüllen. Anschließend wurde ihnen die EEG-Haube auf den Kopf geklebt. Dann mussten die Probanden eine Cortisolsalivette lutschen. Danach wurden die Probanden zu Bett gebracht, wurde die EEG-Haube eingestöpselt und das Licht gelöscht. Nach drei Stunden Schlaf wurden die Probanden geweckt. Dies geschah meistens gegen 02:00 Uhr. Direkt nach dem Wecken und noch im Bett mussten die Probanden erneut eine Salivette lutschen. Dann folgte nach 15 Minuten die Lernphase. Direkt vor der Lernphase mussten die Probanden einen Kurzfragebogen (siehe Anhang) und den PANAS-Fragebogen-1 (siehe Anhang) ausfüllen. Erneut mussten die Probanden eine Cortisolsalivette lutschen. Dann nahmen sie im Versuchsraum Platz, die EEG-Kabel wurden eingesteckt und die Lernphase begann. Auch die Probanden der 2. Nachthälfte mussten zuerst Zahlenreihen bearbeiten. Nach der aus dem Demonstrations-, WR- und SD-Teil bestehenden Lernphase mussten die Probanden einen weiteren Kurzfragebogen ausfüllen und die nächste Salivette lutschen. Danach wurden sie erneut zu Bett gebracht. Nach dem Anschließen der EEG-Kabel für die Schlafableitung wurde wieder das Licht gelöscht. Die Probanden wurden drei Stunden nach dem Zeitpunkt des Einschlafens geweckt, in der Regel gegen 06:45 Uhr. Noch im Bett mussten sie eine Salivette lutschen. Nach 20 Minuten, in denen die Probanden im Versuchsraum saßen und wieder einen Kurzfrage- und PANAS-Fragebogen ausfüllten, musste erneut eine Salivette gelutscht werden. Die EEG-Kabel wurden eingesteckt und die Prüfphase begann. Sie bestand aus dem WR-Teil, dem SD-Teil und der anschließenden Bearbeitung von Zahlenreihen. Es gab keinen Demonstrationsdurchgang. Die Prüfphase war in der Regel gegen 08:00 Uhr beendet. Nach der Prüfphase folgte der letzte Kurzfragebogen, die letzte Salivette, der „Fragebogen nach zweiter Computersitzung“ (siehe Anhang) und der Abschlussfragebogen (siehe Anhang). Nach dem Entfernen der EEG-Haube konnten die Probanden gehen.

Ablaufplan für das Maskierungs-Experiment im Überblick

Uhrzeit	22:30-23:00			03:15-03:45			03:45			
NH1-Nacht (A)	LERNEN			SCHLAF =frühes Behaltensintervall			PRÜFEN			Ende des Experiments
<i>Cortisol(C):</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>		<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>		
<i>Befindl.(B):</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>		<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>		
<i>PANAS (P):</i>	<i>P</i>				<i>P</i>					
Uhrzeit	02:50-03:25			07:25-07:55						
NH2-Nacht (B)	Schlaf			LERNEN			SCHLAF =spätes Behaltensintervall			PRÜFEN
<i>Cortisol(C):</i>		<i>C</i>		<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>		<i>C</i>	<i>C</i>
<i>Befindl.(B):</i>				<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>		<i>B</i>	<i>B</i>
<i>PANAS (P):</i>				<i>P</i>					<i>P</i>	

C entspricht der Anreicherung einer Cortisolsalivette, B einem Befindlichkeitsfragebogen, P einem PANAS-Fragebogen und NH der Nachthälfte. Die angegebenen Zeiten sind Mittelwerte über die Teilnehmer jeder Gruppe, auf volle fünf Minuten gerundet.

Die Lernphase umfasst (in der angegebenen Reihenfolge):

1. Zahlenexperiment (3 Blöcke)
2. Maskierungsexperiment Demo-Teil
3. Maskierungsexperiment WR-Teil (Wahl-Reaktions-Teil)
4. Maskierungsexperiment SD-Teil (Signal-Diskriminations-Teil)

Die Testphase umfasst (in der angegebenen Reihenfolge):

1. Maskierungsexperiment WR-Teil (Wahl-Reaktions-Teil)
2. Maskierungsexperiment SD-Teil (Signal-Diskriminations-Teil)
3. Zahlenexperiment (10 Blöcke)

II.4. Salivetten

Über das gesamte Experiment verteilt mussten die Probanden zeitlich determiniert Salivetten lutschen, um Speichel zur späteren Auswertung zu gewinnen. Die genauen Zeitpunkte werden im Ablaufplan weiter oben im Text beschrieben. Die Salivetten bestehen aus einem saugfähigen Material, eingeschoben und herausnehmbar in einem wiederverschließbaren Plastikgefäß. Diese Salivette wurde für ein bis zwei Minuten in den Mund geschoben. In dieser Zeit sog sie sich mit Speichel voll. Nach den ein bis zwei Minuten wurde die Salivette wieder aus dem Mund genommen, zentrifugiert und der Speichel im Eisschrank eingefroren. Er wurde später für Cortisolbestimmung im Labor gebraucht. Die gewonnenen Cortisolwerte dienten ausschließlich der unterstützenden Bestimmung der Schlafphasen, da die Phasen des Schlafes mit entsprechend verschiedenen Cortisolspiegeln einhergehen. In der ersten Nachthälfte wird die Cortisolfreisetzung gehemmt, während sie in der zweiten Nachthälfte stark ansteigt (Born und Plihal, 2000). Die Ergebnisse werden hier der Kürze wegen nicht dargestellt.

II.5. Elektroenzephalogramm

Während der gesamten Dauer der Versuchseinheiten, bestehend aus der Lernphase und der später folgenden Prüfphase, und während der Schlafphasen wurde kontinuierlich ein Elektroenzephalogramm der Hirnströme des Probanden aufgezeichnet. Hierzu wurde bei jedem Probanden der Schädelumfang vermessen und eine der Größe entsprechende Kappe verwendet. In die Kappe waren Plastikhalterungen für die Kopfelektroden eingearbeitet. Die Kappen waren von der Firma EASYCAP. Als Elektroden wurden Silber/Silber-Chlorid Elektroden (Ag/AgCl) verwendet. Die Bezeichnung der Elektrodenpositionen bezieht sich auf das 10-20-System nach JASPERS (1958). Die Nomenklatur der Abkürzungen lautet wie folgt:

AF für antero-frontal

F für frontal

FC für fronto-zentral

C für zentral

T für temporal

CP für zentro-parietal

P für parietal

PO für parieto-okzipital

O für okzipital

Für die weitere Lokalisation kommen Zahlen oder der Buchstabe z hinzu. Ungerade Zahlen stehen für die linke Seite, gerade Zahlen für rechte Seite des Kopfes. Der Zusatzbuchstabe z (= zero) steht für eine Lokalisation auf der Medianlinie des Kopfes. Die verwendeten EEG-Ableitungen der Kappe waren: AF3, AF4, Fz, F3, F4, F7, F8, FC1, FC2, FC5, FC6, Cz, C3, C4, T7, T8, CP1, CP2, CP5, CP6, Pz, P3, P4, P7, P8, PO3, PO4 und Oz. Die Halterungen für die Erdungselektrode (Gnd), die beiden Referenzelektroden (Ref) und die beiden Elektroden der Ableitung der horizontalen Augenbewegung (EOG) befanden sich ebenfalls in der Kappe (siehe Abbildung 5 weiter unten). Die Erdungselektrode befand sich zwischen den Ableitungen Fz und Cz auf dem Kopf. Die Referenzelektroden befanden sich auf den Mastoiden hinter dem Ohr.

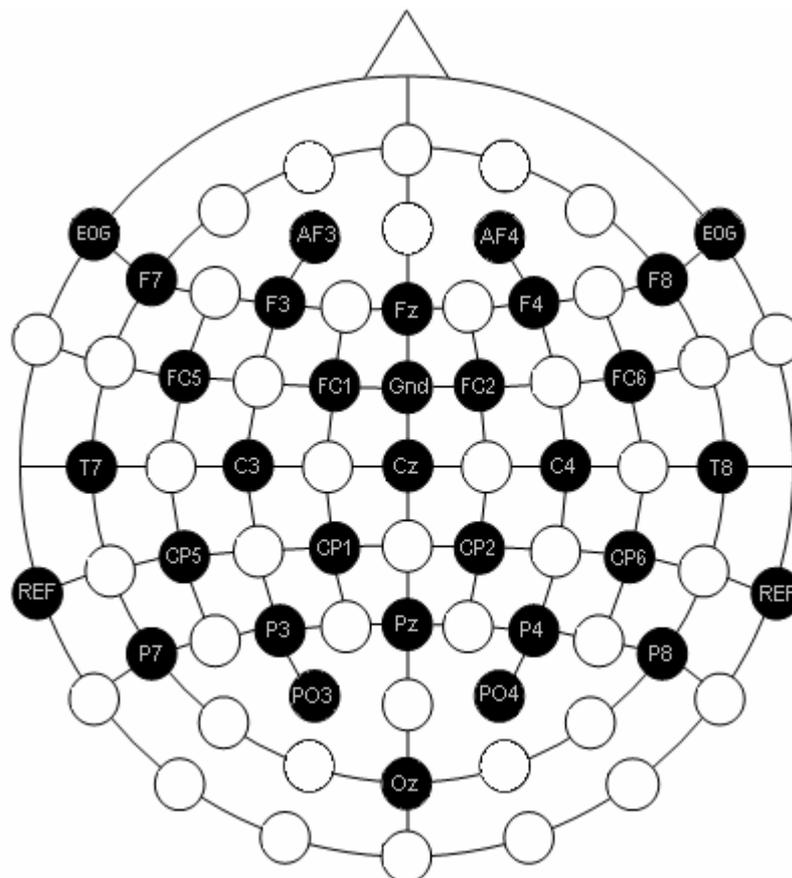


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Elektrodenpositionen

Des Weiteren wurde der Muskeltonus als Elektromyogramm mit Hilfe von zwei extra geklebten Elektroden über den beiden Musculi masseteres bipolar abgeleitet. Die Augenbewegungen wurden ebenfalls bipolar und, wie bereits oben erwähnt, horizontal als HEOG und mit zwei extra geklebten Elektroden vertikal (über und unter dem linken Auge) als VEOG abgeleitet (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Darstellung der Gesichtselektroden

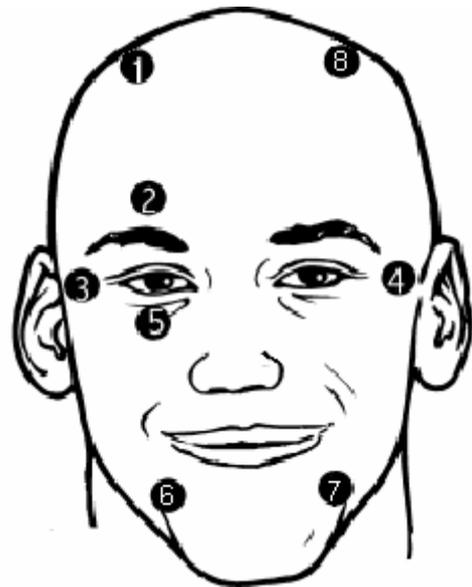
Platzierung der Elektroden:

HEOG: 3 und 4 (in der Kappe steckend)

VEOG: 2 und 5

EMG: 6 und 7

EEG im Schlaf: 1 und 8 (in der Kappe steckend)



Ein EEG ist aus Kanälen aufgebaut. Ein Kanal besteht aus einem Verstärker und einem Analog-Digital-Wandler, der die EEG-Signale digitalisieren und graphisch wiedergeben kann. Die Signale können unipolar oder bipolar abgeleitet werden. Im Falle einer unipolaren Ableitung wird das Signal gegen eine Referenzelektrode abgeleitet, z.B. C3 gegen Ref. Bei der bipolaren Ableitung werden zwei Signale gegeneinander abgeleitet, z.B. HEOG1 gegen HEOG2. Die Kopfhaut wurde an den Lokalisationen der Elektrodenpositionen mit Alkohol und Schleifpaste entsprechend präpariert, so dass der Widerstand aller Elektroden weniger als fünf $k\Omega$ ($<5k\Omega$) betrug.

II.5.1. Versuchselektroenzephalogramm

Während der Lern- und Prüfphasen des Experimentes wurden alle oben aufgeführten EEG-Kanäle (AF3 bis Oz), das EMG, VEOG und HEOG abgeleitet. Die EEG-Signale wurden kontinuierlich zusammen mit den Signalen des Kontrollcomputers während der verschiedenen Phasen des Experimentes (Zahlensaufgabe, WR- und SD-Teil)

aufgezeichnet. Die Signale des Kontrollcomputers dienten der späteren off-line-Auswertung der einzelnen Phasen. Die Daten wurden innerhalb von 0.05-70 Hz durch einen Synamps-Verstärker verstärkt und kontinuierlich mit einer Genauigkeit von $0.08 \mu\text{V} / \text{bit}$ bei 250 Hz pro Kanal digitalisiert und zusammen mit den Signalen des Kontrollcomputers, der die Art der Stimuli und der Antworten codierte, auf einer Festplatte gespeichert. Mit Hilfe der Brain-Vision-Analyzer-Software wurden die Daten off-line bei 30 Hz tiefpassgefiltert, segmentiert von 230 ms vor den sichtbaren Stimuli bis 900 ms danach, bezogen auf die ersten 100 ms als Grundlinie, und automatisch auf Artefakte bearbeitet (mit dem Ausschluss von Durchgängen mit Null-Linien, der Korrektur von Augenbewegungsartefakten durch die Nutzung der linearen Regressionsmethode, die in die Analysesoftware mit implementiert ist, und dem Ausschluss von Durchgängen mit Spannungsdifferenzen $\geq 200 \mu\text{V}$ oder Stufenspannungen $\geq 50 \mu\text{V}$). Die Daten wurden über alle artefaktfreien Durchgänge (im WR-Teil mit dem zusätzlichen Kriterium der korrekten Verhaltensausführung), separat für jede Bedingung (3 Intervalle x Kongruenzen im WR-Teil, 3 Intervalle x Signal vorhanden / abwesend im SD-Teil), Sitzung und Probanden, gemittelt. Um die kontralateralen-ipsilateralen Differenzen von symmetrischen links-rechts Paaren der Ableitungspunkte auf der Kopfhaut zu erhalten, wurden die gemittelten Daten des linken Ableitungspunktes von den gemittelten Daten des rechten Ableitungspunktes subtrahiert, wenn das Karo im sichtbaren Stimulus auf der linken Seite war (z.B., PO8-PO7), und vice versa wenn das Karo auf der rechten Seite war (z.B., PO7-PO8). Mittelwerte über die gemittelten Daten aller Probanden („grand means“) wurden zur Illustration der Ergebnisse berechnet.

II.5.2. Schlafelektroenzephalogramm

Für die EEG-Aufzeichnung der Schlafphasen wurden nur die Kanäle C3, C4, das EMG, VEOG und HEOG abgeleitet. Dies reichte zur Auswertung und Bestimmung der Schlafphasen aus. Zum Schlafen befand sich der Proband in einem schallisolierten Raum, der mit einem Vorraum über einen Kabelkanal für die Elektrodenkabel verbunden war. Der Proband schlief alleine in diesem Raum auf einem bequemen Bett. Der Raum wurde zum Schlafen vollständig abgedunkelt. Der Proband konnte mit Hilfe einer Nachtsichtkamera kontinuierlich überwacht werden. Der Überwachungsmonitor befand sich zusammen mit

dem Aufzeichnungscomputer für die Schlafdaten im Vorraum. Die so gewonnenen Schlaf-EEG-Daten wurden standardisiert in 30-Sekunden-Abschnitten nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) ausgewertet und in einem Hypnogramm zusammengefasst.

II.6. Datenanalyse

Die relevanten Messwerte der Verhaltensdaten und EEG-Potentiale wurden mit Hilfe der Varianzanalyse verrechnet. Die Faktoren der Varianzanalyse waren die Gruppe (Früh-Nacht-Gruppe und Spät-Nacht-Gruppe), die Sitzung (erste Sitzung und zweite Sitzung) und das Intervall (50 ms, 80 ms und 120 ms; SOA60, SOA90 und SOA130). Bei der Analyse der EEG-Parameter waren die Freiheitsgrade für Effekte der Faktoren Gruppe und Sitzung 1,30, für Effekte, bei denen der Faktor Intervall vorkam, 2,60. Bei Analyse der Verhaltensdaten waren die entsprechenden Werte 1,32 und 2,64. Freiheitsgrade der Intervall-Effekte wurden mit dem Greenhouse-Geisser-Koeffizienten korrigiert.

II.6.1 Verhalten

Um die Fähigkeit der Probanden zur Diskrimination zwischen Durchgängen mit Signal und ohne Signal im SD-Teil zu analysieren, wurden Prozentwerte von korrekten Durchgängen (PCcr) separat für jedes Intervall bestimmt. Anschließend wurde d'_{SD} als $0.86 \times \ln(PCcr)/(1-PCcr)$ berechnet. Der prozentuale Anteil der Antworten auf Durchgänge, in denen ein Signal vorkam, wurde als systematischer Auswahlfehler determiniert. Um den Priming-Effekt der maskierten Stimuli im WR-Teil zu analysieren, wurden Antwortzeiten und Fehlerraten verwendet. Die Antwortzeiten wurden in Millisekunden ab Beginn der sichtbaren Stimuli gemessen und separat für jede Bedingung von korrekt bearbeiteten Durchgängen gemittelt. Um eine Metrik der Sensitivität von Priming-Effekten der maskierten Stimuli, vergleichbar zur Prime-Diskrimination, zu erhalten, wurde d'_{SD} (Schmidt & Vorberg, 2006) durch die Skalierung der mittleren Differenzen zwischen inkongruenten und kongruenten Antwortzeiten (AZ) an der

Standardabweichung der AZs über gepoolte kongruente und inkongruente Durchgänge berechnet, separat für jedes Intervall, jede Sitzung und jeden Probanden. Die Differenzen der Fehlerprozent blieben unskaliert (hier als “ Δ ” bezeichnet), da es keine Standardabweichung von Prozenten bei den fehlerhaften Durchgängen gibt. In die Varianzanalyse (ANOVA) flossen die Faktoren Gruppe (Früh-Nacht-Gruppe vs. Spät-Nacht-Gruppe), Intervall (50, 80, 120 ms) und Sitzung (vor dem Schlaf vs. nach dem Schlaf) ein. Freiheitsgrade der Intervall-Effekte wurden mit dem Greenhouse-Geisser-Koeffizienten korrigiert.

II.6.2 ERPs

Aufgrund des Datenverlustes zweier Probanden (siehe weiter oben im Text bei „Probanden“) ergaben sich Freiheitsgrade von 1,30 und 1,60 (für Effekte, die das Intervall miteinschlossen). Der Latenzbereich für die Messungen der Komponenten wurde durch die Betrachtung der „grand means“ bestimmt.

Die N1-Komponente, evoziert durch die maskierten Stimuli im SD-Teil, wurde als negativster Höchstwert innerhalb von 120-180 ms nach dem Erscheinen der maskierten Stimuli in den Aufzeichnungen von P7 (linker visueller Kortex) und P8 (rechter visueller Kortex) gemessen. Dadurch war die Hemisphäre ein zusätzlicher Faktor in der ANOVA.

Das LRP wurde im WR-Teil in der kontralateralen-ipsilateralen Differenz der Potentiale von |C3-C4| ausgewertet. Der Beginn des LRP wurde als mittlere Amplitude 224-264 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli gemessen. Der Wendepunkt des LRP in inkongruenten Durchgängen wurde als größter positiver Punkt in inkongruenten Durchgängen innerhalb von 120-220 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli gemessen. Da sie nur in inkongruenten Durchgängen zu messen war, entfiel für sie in der ANOVA der Kongruenzfaktor.

Die N2-Komponente, evoziert durch sichtbare Stimuli im WR-Teil, wurde als Hauptamplitude 288-340 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli gemessen.

II.6.3. Schlaf

Die Parameter des Hypnogramms (Wachzustand, Schlafstadien S1, S2, S3, S4, REM, sowohl in Minuten als auch als Prozentanteile der Gesamtzeit) wurden mit t-Tests zwischen den beiden Gruppen (frühe Nacht/späte Nacht) verglichen und mit ausgewählten Parametern der Änderung des Verhaltens und der ereignisbezogenen Potentiale zwischen erster und zweiter Sitzung korreliert.

III. Ergebnisse

III.1. Schlaf

In der Abbildung 7 sind die prozentualen Anteile des SWS und REM-Schlafes der Probanden dargestellt. Mit Ausnahme zweier Probanden der Früh-Nacht-Gruppe überschritten sich diese Parameter offensichtlich nicht. Um eine ordentliche Trennung der beiden Gruppen zu gewährleisten, wurden diese beiden Probanden, wie bereits oben im Methodenteil erwähnt, von der Datenanalyse ausgeschlossen. Die Probanden schliefen 190 Minuten zwischen den beiden Sitzungen, wobei es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen gab ($t(32) = 0.2$, keine Signifikanz). Wie erwartet hatten die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe einen größeren Anteil an S3- und S4-Schlaf als die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe (S3: 19% vs. 4%; $t(32) = 5.7$, $p < .001$; S4: 4% vs. 0%; $t(32) = 3.1$, $p = .004$). Der Anteil des REM-Schlafes war hingegen in der Früh-Nacht-Gruppe kleiner als in der Spät-Nacht-Gruppe (4% vs. 22%; $t(32) = 9.8$, $p < .001$). Es gab keine Unterschiede zwischen S1- und S2-Schlaf zwischen der Früh- und Spät-Nacht-Gruppe (S1: 8% vs. 9%, $t(32) = 0.5$, keine Signifikanz; S2: 62% vs. 63%, $t(32) = 0.4$, keine Signifikanz).

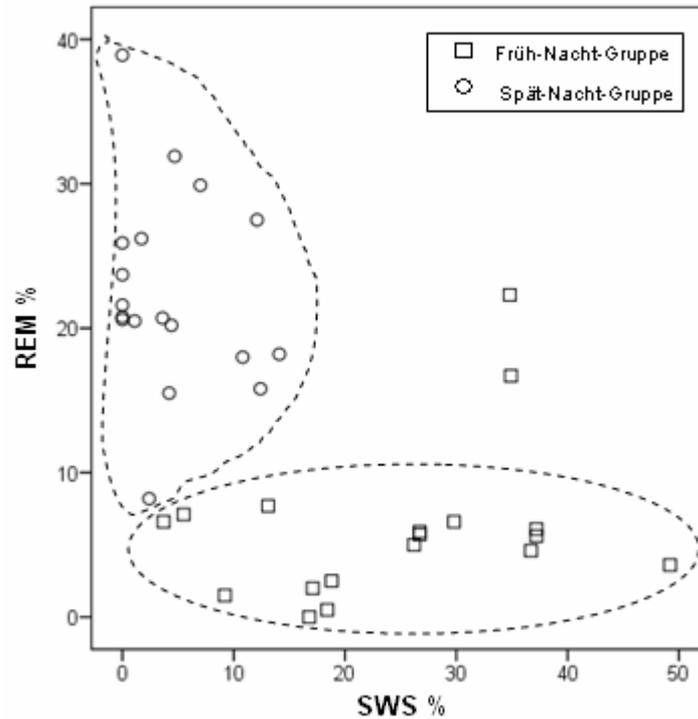


Abbildung 7: Diese Abbildung zeigt ein Streudiagramm mit den prozentualen Anteilen der Zeit, die im REM-Schlaf und SWS verbracht wurden. Die Quadrate kennzeichnen die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe (n=18) und die Kreise die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe (n=18). Die eingekreisten Areale markieren die Probanden, die in die Analyse mit einfließen. So wurde eine klare Trennung, entsprechend ihrer im REM- und SW-Schlaf verbrachten Zeit, gewährleistet.

III.2. Verhalten

Die wichtigsten Werte der Ausführungsparameter sind in der Abbildung 8 dargestellt. Die ANOVA-Ergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

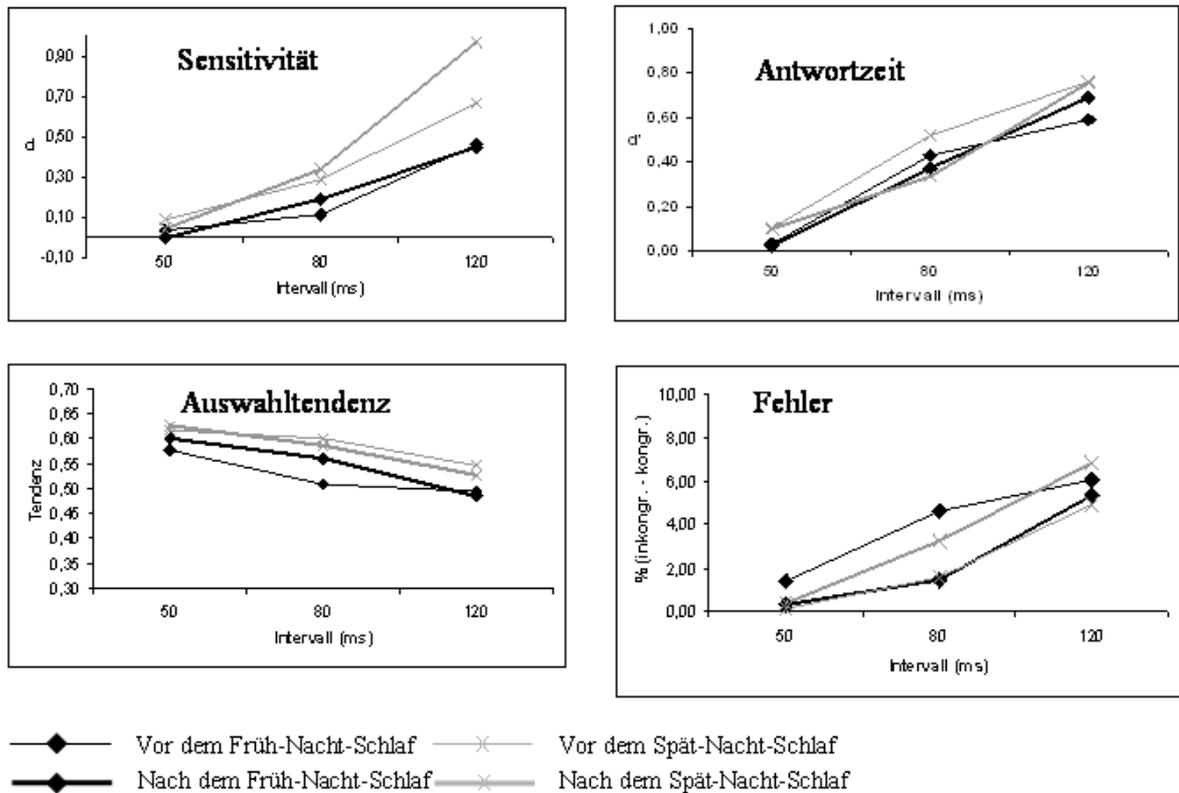


Abbildung 8: Diese Abbildung zeigt die über alle Probanden gemittelten Ausführungsparameter. Auf der linken Seite ist die Diskrimination des Zielreizes in den maskierten Stimuli abgebildet. Auf der rechten Seite sind Parameter des WR-Teils dargestellt. Im oberen linken Feld ist die Diskrimination zwischen maskierten Stimuli, die den Zielreiz enthielten, und maskierten Stimuli, die den Zielreiz nicht enthielten, abgebildet (d'_{SD}). Das untere linke Feld zeigt die Auswahl tendenz, also den Glauben der Probanden, ein Zielreiz wäre präsent gewesen (unabhängig davon, ob er wirklich da war oder nicht). Im oberen rechten Feld sieht man die unterschiedliche Wirkung des Priming-Effektes auf die Antwortzeit auf sichtbare Stimuli zwischen kongruenten und inkongruenten Stimuli, bestimmt als d'_{PR} (siehe Methodenteil). Das rechte untere Feld zeigt die Differenz in der Anzahl der Fehler (in % von allen Durchgängen). Schwarze Linien sind von der Früh-Nacht-Gruppe und graue Linien von der Spät-Nacht-Gruppe. Dünne Linien sind von der ersten Sitzung und dicke Linien von der zweiten Sitzung.

	Effekt	Effekt x Nachthälftegruppe	Effekt x Sitzung	Effekt x Sitzung x Nachthälfte- gruppe
Signal-Diskrimi- nation: d'_{SD} Intervall	34.7 <.001	2.4	2.4	2.5 .10
Signal-Diskrimi- nation: Tendenz Intervall	7.2 .009	0.1	2.1	1.6
Wahl-Reaktion: d'_{RT} Intervall	100.2 <.001	0.5	1.9	0.3
Wahl-Reaktion: Fehler (Δ) Intervall	19.3 <.001	0.2	0.8	1.3
		1.1	0.4	0.9
		2.2	0.3	1.2
		0.1	2.1	1.6
		0.1	0.1	8.2 .007

Tabelle 2: Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der ANOVA der Messwerte des Verhaltens. Die Einträge in der linken Spalte sind die F-Werte der bezeichneten Effekte (hier nur Intervall, aber siehe auch Tabelle 4), gefolgt durch ihre Interaktion mit *Nachthälftegruppe*, mit *Sitzung* und mit *Nachthälftegruppe x Sitzung*. Einträge in der ersten Zeile jeder Komponente sind die Haupteffekte der Gruppe und der Sitzung und ihrer Interaktion. Die Freiheitsgrade der F-Werte sind 1,32 oder 2,64 (bei Effekten, die das Intervall miteinschlossen). Die p-Werte (Greenhouse-Geisser korrigiert in Fällen des Intervall-Effektes) sind hinzugefügt, wenn $p \leq .10$. Wenn $p \leq .05$, wurden die F-Werte fettgedruckt geschrieben. Die Anzahl der Probanden der Früh-Nacht-Gruppe betrug 16, die Anzahl der Probanden der Spät-Nacht-Gruppe betrug 18 Personen.

Signal-Diskrimination: Die Sensitivität (d'_{SD}) stieg bei einem größer werdenden Intervall zwischen den Stimulipaaren an ($F(2,64) = 34.7, p < .001$). Abbildung 8 könnte dem Betrachter suggerieren, dass die Sensitivität der Spät-Nacht-Gruppe einer größeren Veränderung unterworfen ist. Der Haupteffekt der Nachthälftegruppe ($p = .09$) und die Interaktion von Sitzung x Intervall x Nachthälftegruppe ($p = .10$) bleiben allerdings nur eine Tendenz (siehe Tabelle 2). Wurden jedoch die beiden Gruppen trotzdem getrennt ausgewertet, so erhielt man reliable Anhaltspunkte für eine ansteigende Sensitivität in der zweiten Sitzung der Spät-Nacht-Gruppe (Sitzung x Intervall: $F(2,34) = 3.9, p = .04$; bei getrennter Analyse jedes der drei Intervalle unterschieden sich die Sitzungen am meisten bei 120 ms ($F(1,17) = 3.5, p = .08$). Im Gegensatz dazu gab es in der Früh-Nacht-Gruppe keine Anhaltspunkte für Veränderungen der Sensitivität ($F < 0.7$ sowohl für den Haupteffekt der Sitzung als auch für die Interaktion von Sitzung x Intervall).

Des Weiteren wurden systematische Antworttendenzen gemessen, das heißt, eine Tendenz, immer zu antworten, als ob der Zielreiz in den maskierten Stimuli präsentiert wurde, unabhängig von irgendwelchen Wahrnehmungen eines Zielreizes (1.0 zeigt eine solche Antworttendenz, 0.0 zeigt die entgegengesetzte Antworttendenz zu einer nicht bestehenden Präsenz des Karo-Zielreizes, 0.5 zeigt keine Antworttendenz). Die gemittelten Werte sind im linken unteren Feld der Abbildung 8 dargestellt. Auswahltendenzen traten im Zusammenhang mit kurzen Intervallen zwischen den Stimulipaaren auf (Haupteffekt des Intervalls: $F(2,64) = 7.2, p = .009$), bei denen die Probanden anscheinend durch die sichtbaren Stimuli, die immer die Zielsilhouette enthielten, dazu verleitet wurden, zu glauben, den Zielreiz im maskierten Stimulus wahrgenommen zu haben. Die systematische Auswahltendenz wurde weder durch die Sitzung noch durch die Nachthälftegruppe beeinflusst.

Priming-Effekte: Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antwortzeiten und der Fehler im Wahl-Reaktions-Teil sind in der Tabelle 3 dargestellt und bilden die Rohdaten, aus denen d'_{PR} und Δ berechnet wurden.

Intervall	Kongruent			Inkongruent		
	50	80	120	50	80	120
Früh-Nacht-Gr. Erste Sitzung	499 (75)	474 (79)	464 (69)	502 (71)	516 (68)	523 (75)
Zweite Sitzung	480 (67)	457 (71)	447 (71)	482 (62)	494 (54)	515 (62)
Spät-Nacht-Gr. Erste Sitzung	532 (74)	515 (85)	501 (82)	542 (71)	567 (77)	577 (77)
Zweite Sitzung	480 (63)	463 (64)	448 (63)	490 (49)	497 (49)	523 (60)
Früh-Nacht-Gr. Erste Sitzung	2.3 (2.3)	2.3 (3.0)	2.6 (2.9)	3.6 (4.1)	6.9 (6.9)	8.6 (7.1)
Zweite Sitzung	1.9 (1.5)	2.3 (2.7)	1.4 (2.0)	2.2 (2.7)	3.8 (4.7)	6.7 (6.4)
Spät-Nacht-Gr. Erste Sitzung	2.7 (3.8)	2.8 (3.0)	2.4 (2.8)	2.8 (3.4)	4.4 (4.0)	7.3 (6.5)
Zweite Sitzung	1.6 (1.8)	1.6 (2.0)	2.2 (2.7)	1.9 (3.5)	4.8 (5.7)	9.1 (9.2)

Tabelle 3: In dieser Tabelle sind die Reaktionszeiten und Fehler im WR-Teil mit Mittelwerten (Standardabweichungen) der Probanden zusammengefasst. In der oberen Hälfte sind die Reaktionszeiten in ms, bezogen auf den Beginn der Darbietung der sichtbaren Stimuli, eingetragen. In der unteren Hälfte sind die Fehler dargestellt. Die Einträge sind Prozentwerte von Fehlerdurchgängen in Relation zu allen Durchgängen. Die Anzahl der Probanden der Früh-Nacht-Gruppe betrug 16, die Anzahl der Probanden der Spät-Nacht-Gruppe betrug 18 Personen.

Die d'_{PR} -Werte waren größer als 0, sogar für das Intervall 50 (konstanter ANOVA-Term in separater Analyse des Intervall 50: $F(1,32) = 4.1, p=.05$), und stiegen merklich bei längeren Intervallen an (Haupteffekt des Intervalls: $F(2,64) = 100.2, p<.001$). Es gab keine Hinweise für Lernen (alle Effekte, die den Sitzungsfaktor miteinschlossen $F<1.1$) und keine Differenzen zwischen den Nachthälften (alle Effekte, die den Nachthälften-Gruppenfaktor miteinschlossen $F<1.1$).

Für Δ der Fehlerprozente galt, vergleichbar zu den Antwortzeiten, dass die Priming-Effekte mit dem Stimulus-Intervall anstiegen und die meisten Fehler bei dem Intervall 120 auftraten ($F(2,64) = 19.3, p<.001$). In der Früh-Nacht-Gruppe war das Priming in der ersten Sitzung größer als in der zweiten Sitzung, wohingegen in der Spät-Nacht-Gruppe das Priming dazu tendierte, in der zweiten Sitzung größer als in der ersten Sitzung zu sein (Interaktion von Sitzung x Nachthälftengruppe: $F(1,32) = 8.2, p=.007$; separate Effekte von Sitzung für die Früh-Nacht-Gruppe: $F(1,15) = 5.3, p=.03$; für die Spät-Nacht-Gruppe: $F(1,17) = 3.1, p=.098$).

Anstiege von Δ korrelierten nicht mit d'_{SD} ($r(32) = .00$), das heißt, dass die Probanden, die nach dem Schlaf eine größere Fehlerzahl (durch die maskierten Stimuli induziert) produzierten, nicht zwangsläufig die gleichen Probanden waren, die nach dem Schlaf die maskierten Stimuli besser unterscheiden konnten.

Korrelationen zwischen Verhaltensänderungen und Schlafparametern: Um die Anzahl der berechneten Korrelationen nicht übermäßig zu erhöhen, wurden nur drei globale Parameter der Verhaltensänderung zwischen den Sitzungen berücksichtigt. Diese Parameter waren die Veränderungen von d'_{SD} , d'_{PR} und Δ zwischen den Sitzungen und wurden gemittelt über alle Stimuli-Intervalle. Diese drei Parameter der Verhaltensveränderung wurden mit sechs Schlafparametern korreliert. Die Schlafparameter waren die Gesamt-Schlafzeit, der prozentuale Anteil an verbrachter Zeit in S1, S2, S3 und S4 (SWS), im REM-Schlaf und im Wachzustand.

Von diesen 18 Korrelationen über alle Probanden war eine Korrelation signifikant mit $p<.001, r(32) = 0.63$: Die Probanden, die mehr Zeit im REM-Schlaf verbrachten, hatten ein größeres Δ , das heißt einen größeren Anstieg der Fehler von der ersten zur zweiten Sitzung (Abbildung 9). Der Ursprung dieser Beziehung lag in der Spät-Nacht-Gruppe $r(16) = 0.70, p=.001$ (im Gegensatz dazu, $r(14) = 0.11$, keine Signifikanz, in der Früh-Nacht-Gruppe). Von den drei Intervallen, die für diesen Parameter des Fehleranstiegs gemittelt wurden, kam der relevante Anteil von dem Intervall 80. Die Korrelationen der Spät-Nacht-Gruppe

waren für jedes Intervall: $r(16) = 0.45$, $p=.06$, für 50 ms; $r(16) = 0.66$, $p=.003$, für 80 ms; $r(16) = 0.27$, keine Signifikanz, für 120 ms. Um zu klären, ob die Korrelation mit der Änderung zwischen den Sitzungen zufällig durch Variation in der ersten Sitzung zustande kam, also kein Effekt des dazwischenliegenden Schlafes sein könnte, wurde der prozentuale Anteil des REM separat mit dem Δ der ersten und zweiten Sitzung der Spät-Nacht-Gruppe korreliert. Korrelationen mit der ersten Sitzung waren $r(16) = -0.07$, keine Signifikanz, und $r(16) = .40$, $p=.10$, für die zweite Sitzung. Da die Korrelation nicht von der ersten Sitzung stammt, beschreibt sie einen wirklichen Effekt der Veränderung.

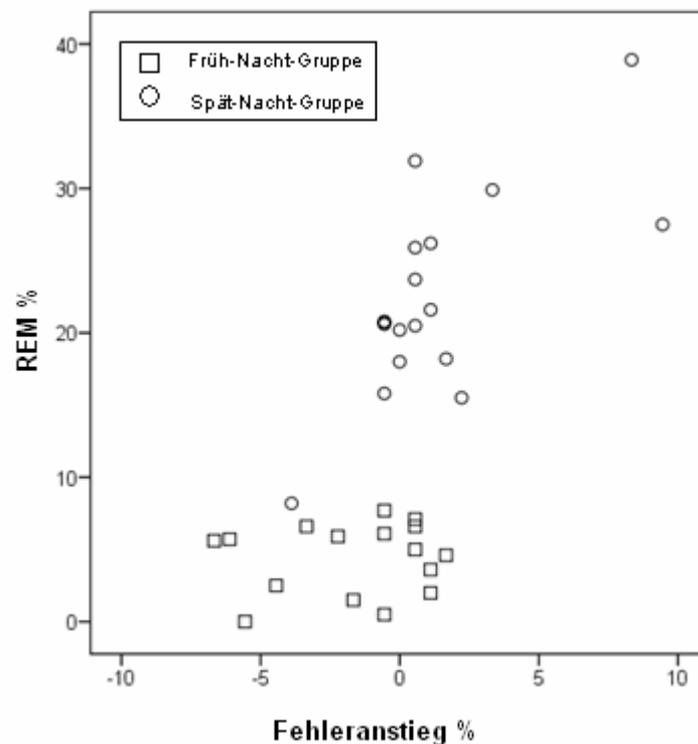


Abbildung 9: Diese Abbildung zeigt die Korrelationen zwischen dem Anstieg der Fehler (in Prozent von allen Durchgängen) im WR-Teil von der ersten zur zweiten Sitzung und dem prozentualen Anteil der Zeit, die zwischen den beiden Sitzungen im REM-Schlaf verbracht worden ist. Die Quadrate kennzeichnen die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe und die Kreise die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe.

Zusammenfassung der Verhaltensänderungen von der ersten zur zweiten Sitzung: In der Spät-Nacht-Gruppe tendierte die Sensitivität über den Schlaf zu einem Anstieg für das lange Intervall 120. Die Anzahl der Fehler der Antworten auf die sichtbaren Stimuli im WR-Teil, die durch die maskierten Stimuli induziert wurden, korrelierten mit dem proportionalen Anteil des REM-Schlafes im zwischengeschalteten Schlafintervall. Dies wurde auch durch eine Interaktion von Nachthälftengruppe und Sitzung angedeutet. Es gab keine Veränderungen im Priming-Effekt auf die Reaktionszeiten über den Schlaf.

III.3. ERPs

Die Ergebnisse der ANOVA sind in der Tabelle 4 dargestellt.

	Effekt	Effekt x Nachthälftegruppe	Effekt x Sitzung	Effekt x Sitzung x Nachthälfte- gruppe
N1-P1		0.0	0.2	4.9 .04
Zielpräsenz (ZP)	29.4 <.001	0.1	0.9	0.1
Intervall	9.0 .001	0.1	1.4	0.4
ZP x Intervall	0.8	1.3	1.1	0.4
Hemisphäre	11.5 <.001	1.3	0.4	0.2
Hemi. x ZP	1.2	0.0	1.4	0.0
Hemi. x Intervall	1.3	1.0	5.3 .009	0.5
Hemi. x ZP x Intervall	0.3	0.8	0.1	0.4
LRP- Wendepunkt		0.9	0.9	0.1
Intervall	23.2 <.001	1.2	0.2	0.2
N2		1.5	16.1 <.001	0.0
Kongruenz	15.7 <.001	0.0	0.6	1.8
Intervall	21.5 <.001	1.1	0.6	1.2
Kongruenz x Intervall	2.3	0.5	1.5	6.5 .005

Tabelle 4: Die Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der ANOVA der ERP-Messungen. Einträge in der linken Spalte sind die F-Werte der angezeigten Effekte, gefolgt in der nächsten Spalte von ihrer Interaktion mit Gruppe, mit Sitzung und mit Sitzung x Gruppe. (Einträge in der ersten Zeile jeder Komponente sind die Haupteffekte der Gruppe, der Sitzung und ihrer Interaktionen). Freiheitsgrade der F-Werte waren 1,30 oder 2,60 (in Effekten, die das Intervall mit einschlossen). Die p-Werte (Greenhouse-Geisser korrigiert in Fällen des Intervall-Effektes) sind, wann immer sie mit hinzugefügt wurden, $p \leq .10$ gewesen. Wenn $p \leq .05$ war, wurden die F-Werte fettgedruckt geschrieben. Die Anzahl der Probanden der Früh-Nacht-Gruppe betrug 15, die Anzahl der Probanden der Spät-Nacht-Gruppe betrug 17 Personen. Die N1-P1 ist das durch maskierte Stimuli im SD-Teil evozierte Potential, das eine perzeptuelle Prozessierung dieser Stimuli andeutet. Der LRP-Wendepunkt und die N2 wurden im WR-Teil gemessen und bilden eine motorische Verarbeitung, in Abhängigkeit vom Erscheinen der sichtbaren Stimuli, ab.

Die N1 im Signal-Diskriminations-Teil: Die Abbildung 10 zeigt die im visuellen Kortex evozierten Potentiale im SD-Teil. Im oberen Feld sind die Daten aller Probanden und beider Sitzungen zusammengefasst. Der Zeitpunkt Null ist als das Erscheinen der maskierten Stimuli definiert. Diese maskierten Stimuli evozieren eine N1 mit einer maximalen Ausprägung etwa 150 ms nach ihrem Erscheinen. Dieser N1 geht eine P1 bei etwa 100 ms voraus. Anschließend folgt der N1 bei einem Intervall 80 und einem Intervall 120 eine zweite negative Auslenkung. Die zweite negative Auslenkung beim Intervall 80 kommt nach ungefähr 250 ms und beim Intervall 120 nach ungefähr 290 ms. Da sie 160 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli auftreten, repräsentieren sie vermutlich die N1 als Reaktion auf die sichtbaren Stimuli. Um die durch die maskierten Stimuli evozierte N1 besser zwischen den Bedingungen hervorzuheben, sind die Potentiale in den anderen Feldern von Abbildung 10 mit Bezug auf das Erscheinen der sichtbaren Stimuli abgebildet. Dies sind die gleichen Daten wie im oberen Feld, aber in diesem Falle separat für beide Gruppen und ihre Sitzungen. Eine genaue Betrachtung dieser Abbildung lässt vermuten, dass möglicherweise Effekte der Zielreizpräsentation auf die N1 (Unterschiede zwischen dicken und dünnen Linien) durch vorausgegangene langsame Potentialverschiebungen (schon sichtbar zum Zeitpunkt der P1) hervorgerufen wurden. Dies könnte besonders in der ersten Sitzung der Früh-Nacht-Gruppe vermutet werden. Um diese fälschlichen Differenzen zu beseitigen, wurde die N1 hier gegen den Höchstwert der vorangegangenen P1 gemessen und nicht gegen die dem Stimulus vorausgegangene Grundlinie.

Die N1-P1-Amplitude war bei den Durchgängen größer, bei denen der Zielreiz vorhanden war (Zielreiz vorhanden: $F(1,30) = 29.4$, $p < .001$). Des Weiteren war die Amplitude bei Durchgängen mit dem Intervall 80 und 120 größer als bei dem Intervall 50 (Intervall: $F(2,60) = 9.0$, $p < .001$). Die Amplitude war auf der rechten Hemisphäre größer als auf der linken Hemisphäre (Hemisphäre: $F(1,30) = 11.5$, $p < .001$). Von potentiell Interesse könnte sein, dass die N1-P1-Amplitude dazu tendierte, über die Sitzungen in der Früh-Nacht-Gruppe anzusteigen und über die Sitzungen in der Spät-Nacht-Gruppe abzusinken (Sitzung x Gruppe: $F(1,30) = 4.9$, $p = .04$; Effekt der Sitzung separat in der Früh-Nacht-Gruppe: $F(1,14) = 2.2$, $p = .17$; in der Spät-Nacht-Gruppe: $F(1,16) = 3.3$, $p = .09$). In der rechten Hemisphäre (in der die Amplituden generell größer waren) stieg die relativ kleine Amplitude beim Intervall 50 von der ersten zur zweiten Sitzung an, während es bei den anderen Intervallen diese Veränderung nicht gab (Intervall x Sitzung x Hemisphäre: $F(2,60) = 5.3$, $p = .009$; Effekt des Intervall x Sitzung separat am Ort P7: $F(2,60) = 1.6$, keine Signifikanz; am Ort P8: $F(2,60) = 3.5$, $p = .04$; Effekt der Sitzung separat für jedes

Intervall am Ort P8: 50 ms: $F(1,30) = 4.0, p=.05$; 80 ms and 120 ms: $F < 1.5$, keine Signifikanz).

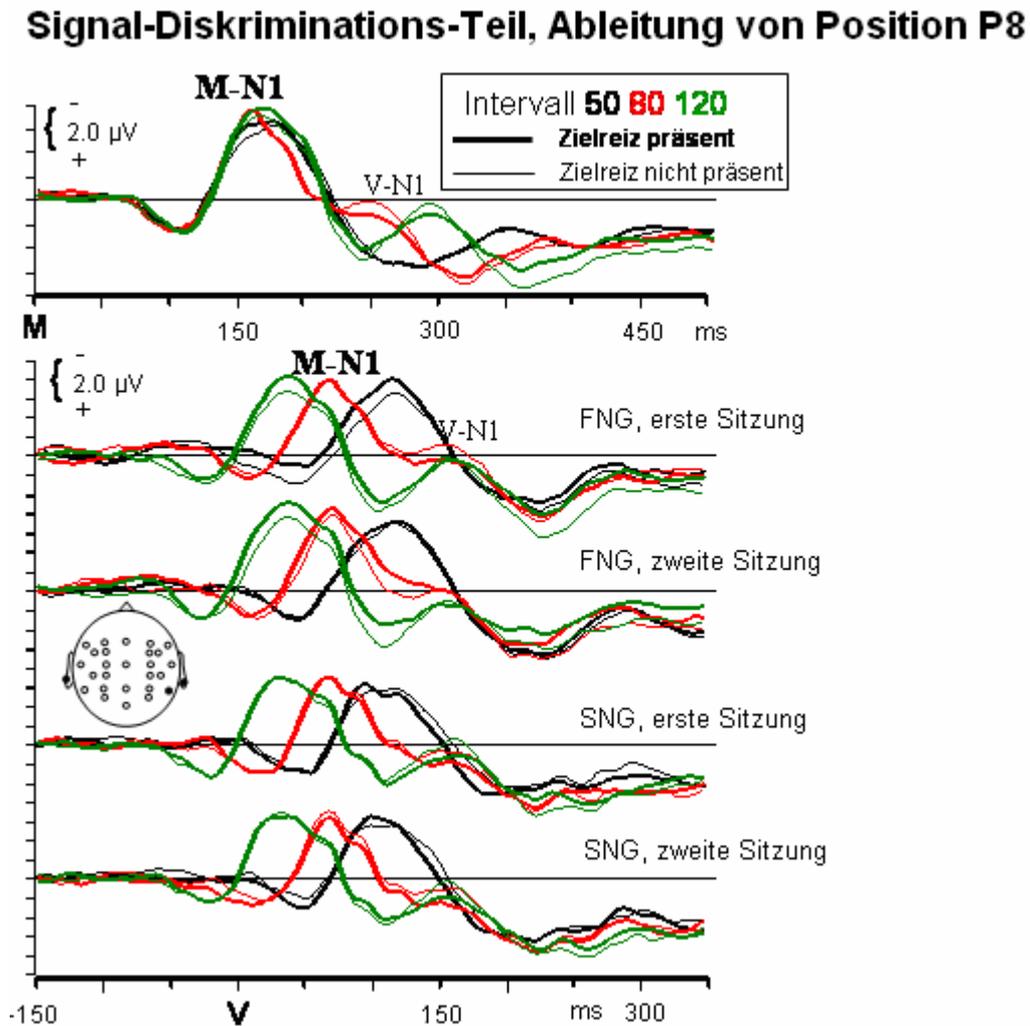


Abbildung 10: In dieser Abbildung sind die gemittelten Werte der ereignisevozierten Potentiale, die am Ort P8 (rechter visueller Kortex) im SD-Teil abgeleitet wurden, dargestellt. Im oberen Feld wurden die Daten aller Probanden über beide Sitzungen gemittelt. Die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der maskierten Stimuli, als **M** (für **m**askiert) auf der X-Achse aufgetragen. In den vier unteren Feldern sind die Daten separat für beide Sitzungen und beide Gruppen (FNG=Früh-Nacht-Gruppe und SNG=Spät-Nacht-Gruppe) dargestellt. Die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der sichtbaren Stimuli, als **V** (für **v**isible=sichtbar) auf der X-Achse aufgetragen, um die durch die maskierten Stimuli evozierte N1 durch Auflösung der zeitlichen Überlappung besser sichtbar zu machen. Negative Ausschläge sind aufwärts eingezeichnet. Die Markierungen der Y-Achse bezeichnen $1 \mu\text{V}$. Schwarze Kurven sind von Durchgängen mit dem Intervall 50 ms, rote Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 80 ms und grüne Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 120 ms. Dick gedruckte Linien stammen von Durchgängen, in denen ein Zielreiz in den maskierten Stimuli vorhanden war, und dünn gedruckte Linien von Durchgängen, in denen kein Zielreiz in den maskierten Stimuli vorhanden war.

Die LRP im Wahl-Reaktions-Teil: Die Abbildung 11 gibt die Potentialdifferenzen, die zwischen den beiden motorischen Kortices (C3-C4) im WR-Teil gemessen wurden, wieder. Die Kurven erreichen ihr Maximum etwa 400 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli und zeigen damit eine Aktivierung des handmotorischen Kortex an, der für die Beantwortung benötigt wird. Hier waren vor allem Effekte durch die maskierten Stimuli von Interesse. Diese Effekte kann man im frühen Verlauf der Kurven sehen. Es gibt eine Divergenz zwischen den kongruenten und inkongruenten Durchgängen, die etwa 220 ms nach dem Erscheinen der maskierten Stimuli beginnt. Das Ausmaß dieses Effektes kann am besten in inkongruenten Durchgängen gemessen werden, da hier die Aktivitäten, die durch die maskierten und sichtbaren Stimuli evoziert werden, in entgegengesetzter Richtungen zueinander stehen. Der Wendepunkt, an dem das durch maskierte Stimuli evozierte Priming sein Maximum erreichte, wurde als positiver Maximalausschlag der Kurve 120-220 ms nach dem Erscheinen der sichtbaren Stimuli in inkongruenten Durchgängen gemessen. Es wurden keine Effekte für die Latenz des Wendepunktes gefunden. Aber seine Amplitude stieg, wenn das Zwischenintervall größer wurde (Intervall: $F(2,60) = 23.7, p < .001$), und wurde interessanterweise durch eine Interaktion von Intervall x Sitzung x Nachthälftengruppe ($F(2,60) = 6.1, p = .005$) beeinflusst, die Effekte von Sitzung x Nachthälfte bei den Intervallen 80 und 120 ms reflektiert (Sitzung x Nachthälfte separat für Intervall 50: $F(1,30) = 0.4$, keine Signifikanz; für Intervall 80: $F(1,30) = 6.1, p = .02$; für Intervall 120: $F(1,30) = 5.4, p = .03$). Der Effekt beim Intervall 80 spiegelt gegensätzliche Tendenzen der beiden Gruppen wider, mit großen Amplituden in der Früh-Nacht-Gruppe und ihrer Tendenz, von der ersten zur zweiten Sitzung kleiner zu werden, und kleinen Amplituden der Spät-Nacht-Gruppe und deren Tendenz, von der ersten zur zweiten Sitzung anzusteigen. Der Effekt für das Intervall 120 spiegelt einen ausgeprägten Anstieg der Amplituden in der Früh-Nacht-Gruppe wider ($F(1,14) = 8.1, p = .01$), während es keine Veränderungen in der Spät-Nacht-Gruppe gab ($F(1,16) = 1.3$, keine Signifikanz).

Wahl-Reaktions-Teil, Differenzen von C3-C4

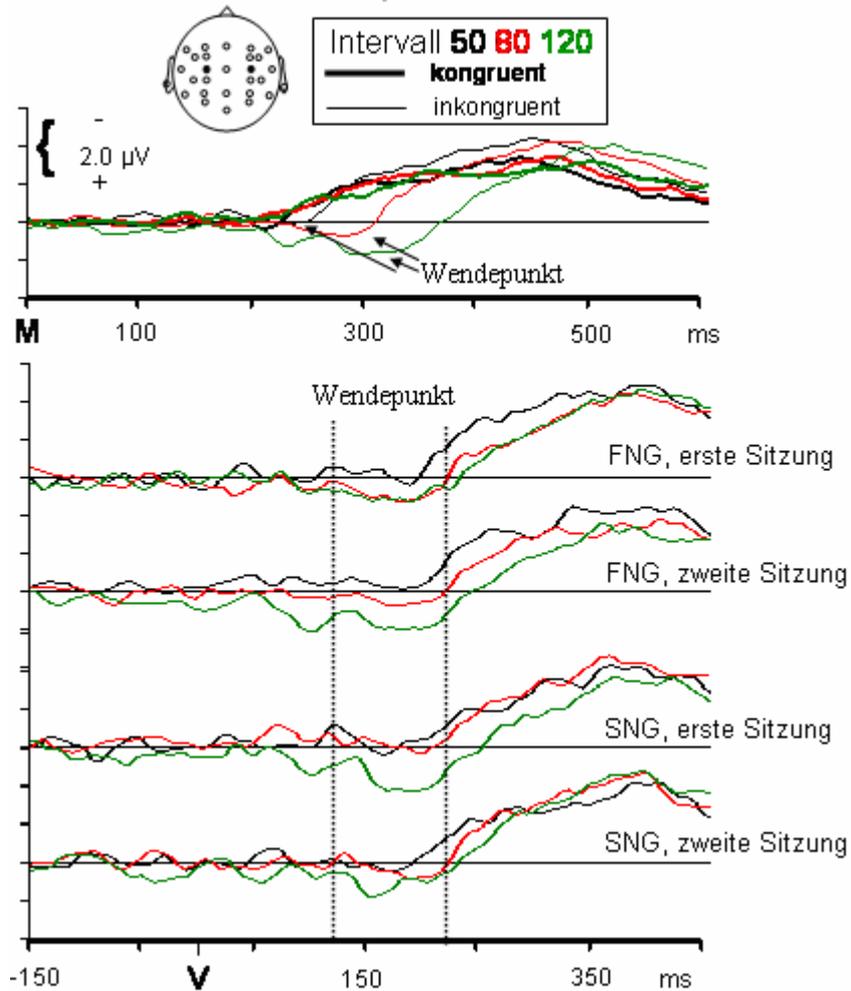


Abbildung 11: In dieser Abbildung sind die gemittelten Werte ereignisevozierter Potentiale im WR-Teil als Differenzen (kontralateral abzüglich ipsilateral zur antwortenden Hand) an den Orten C3 und C4 (linker und rechter motorischer Kortex) dargestellt. Im oberen Feld wurden die Daten aller Probanden über beide Sitzungen gemittelt. Die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der maskierten Stimuli, als **M** (für **m**askiert) auf der X-Achse aufgetragen. In den vier unteren Feldern sind die Daten separat für beide Sitzungen und beide Gruppen (FNG=Früh-Nacht-Gruppe und SNG=Spät-Nacht-Gruppe) aufgeführt. Es sind hier nur inkongruente Durchgänge dargestellt und die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der sichtbaren Stimuli, als **V** (für **v**isible=sichtbar) auf der X-Achse aufgetragen. Negative Ausschläge sind aufwärts eingezeichnet. Markierungen der Y-Achse bezeichnen 1 µV. Schwarze Kurven sind von Durchgängen mit dem Intervall 50 ms, rote Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 80 ms und grüne Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 120 ms. Dick gedruckte Linien stammen von kongruenten Durchgängen und dünn gedruckte Linien von inkongruenten Durchgängen. Das Zeitfenster markiert den Ort, an dem der Wendepunkt der LRP gemessen wurde.

Die N2 im Wahl-Reaktions-Teil: In der Abbildung 12 sind die an Position Fz (frontale Mittellinie) evozierten Potentiale dargestellt. Im oberen Feld, in dem die Kurven in

Abhängigkeit vom Erscheinen der maskierten Stimuli abgebildet sind, kann man eine Sequenz von Komponenten (N100-P200-N300) sehen, die durch maskierte Stimuli evoziert wurden. Diese Komponenten waren a priori nicht von Interesse. Sie zeigen keine Differenzen zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen. Dies lässt sich gut an den Differenzen der kongruenten und inkongruenten Durchgänge im rechten Feld der Abbildung 12 sehen. Die N2-Komponente, die durch sichtbare Stimuli in den inkongruenten Durchgängen evoziert wurde, war hingegen a priori von Interesse. Dieses Interesse wurde gut in den Differenz-Kurven deutlich gemacht. Ein Haupteffekt der Kongruenz kennzeichnete generell größere N2-Amplituden in inkongruenten Durchgängen als in kongruenten Durchgängen, $F(1,30) = 15.7$, $p < .001$. Nebenbei gab es Haupteffekte für die Sitzung, die einen generellen Anstieg der N2 von der ersten zur zweiten Sitzung anzeigten, $F(1,30) = 16.1$, $p < .001$, und einen Haupteffekt des Zwischenintervalls, der anzeigte, dass die N2 bei einem Intervall von 120 ms am größten war, $F(2,60) = 21.5$, $p < .001$. Von größtem Interesse war eine unterschiedliche Veränderung des Kongruenzeffektes, der durch die Interaktion von Kongruenz x Intervall x Sitzung x Nachthälftegruppe widergespiegelt wurde: $F(2,60) = 6.5$, $p = .005$. Separate Analysen für jedes Intervall boten folgende Darstellung:

Beim Intervall 120 gab es einen klaren Kongruenzeffekt, der sich über die Sitzungen nicht veränderte (Kongruenz: $F(1,30) = 9.5$, $p = .004$; Kongruenz x Sitzung: $F(1,30) = 0.6$, keine Signifikanz; Kongruenz x Sitzung x Nachthälftegruppe: $F(1,30) = 0.5$, keine Signifikanz).

Beim Intervall 80 stieg der Kongruenzeffekt über die Sitzungen bei der Früh-Nacht-Gruppe, während er bei der Spät-Nacht-Gruppe konstant blieb (Kongruenz x Sitzung x Nachthälftegruppe: $F(1,30) = 8.1$, $p = .008$; Kongruenz und Kongruenz x Sitzung separat für die Früh-Nacht-Gruppe: $F(1,14) = 12.3$, $p = .004$, und $F(1,14) = 6.1$, $p = .03$; für die Spät-Nacht-Gruppe: $F(1,16) = 5.5$, $p = .03$, und $F(1,16) = 1.8$, keine Signifikanz), so dass der Kongruenzeffekt in der ersten Sitzung in der Spät-Nacht-Gruppe (Kongruenz x Nachthälftegruppe separat für diese Sitzung: $F(1,30) = 4.1$, $p = .05$) und in der zweiten Sitzung in der Früh-Nacht-Gruppe (Kongruenz x Nachthälftegruppe separat für diese Sitzung: $F(1,30) = 4.8$, $p = .04$) signifikant war.

Beim Intervall 50 trat ein Kongruenzeffekt in der ersten Sitzung der Früh-Nacht-Gruppe auf, der sonst nicht nachzuweisen war (Kongruenz x Sitzung x Nachthälftegruppe: $F(1,30) = 5.3$, $p = .03$; Kongruenz x Sitzung separat für die Früh-Nacht-Gruppe: $F(1,14) = 4.9$, $p = .04$; für die Spät-Nacht-Gruppe: $F(1,16) = 0.8$, keine

Signifikanz; Kongruenz in der ersten Sitzung der Früh-Nacht-Gruppe: $F(1,14) = 4.2$, $p=.06$; in ihrer zweiten Sitzung: $F(1,14) = 0.3$, keine Signifikanz). Es scheint, dass dieser Effekt fälschlicherweise durch Überlappung anderer Komponenten zustande gekommen ist, da man keine ausgeprägte negative Auslenkung in der Abbildung 12 sehen kann.

Zusammenfassung: Die Verarbeitung von konflikthaftern Informationen, die durch die N2 in inkongruenten Durchgängen angezeigt wurde, stieg in der Früh-Nacht-Gruppe über die Sitzungen an.

Wahl-Reaktions-Teil, Ableitung von Position Fz

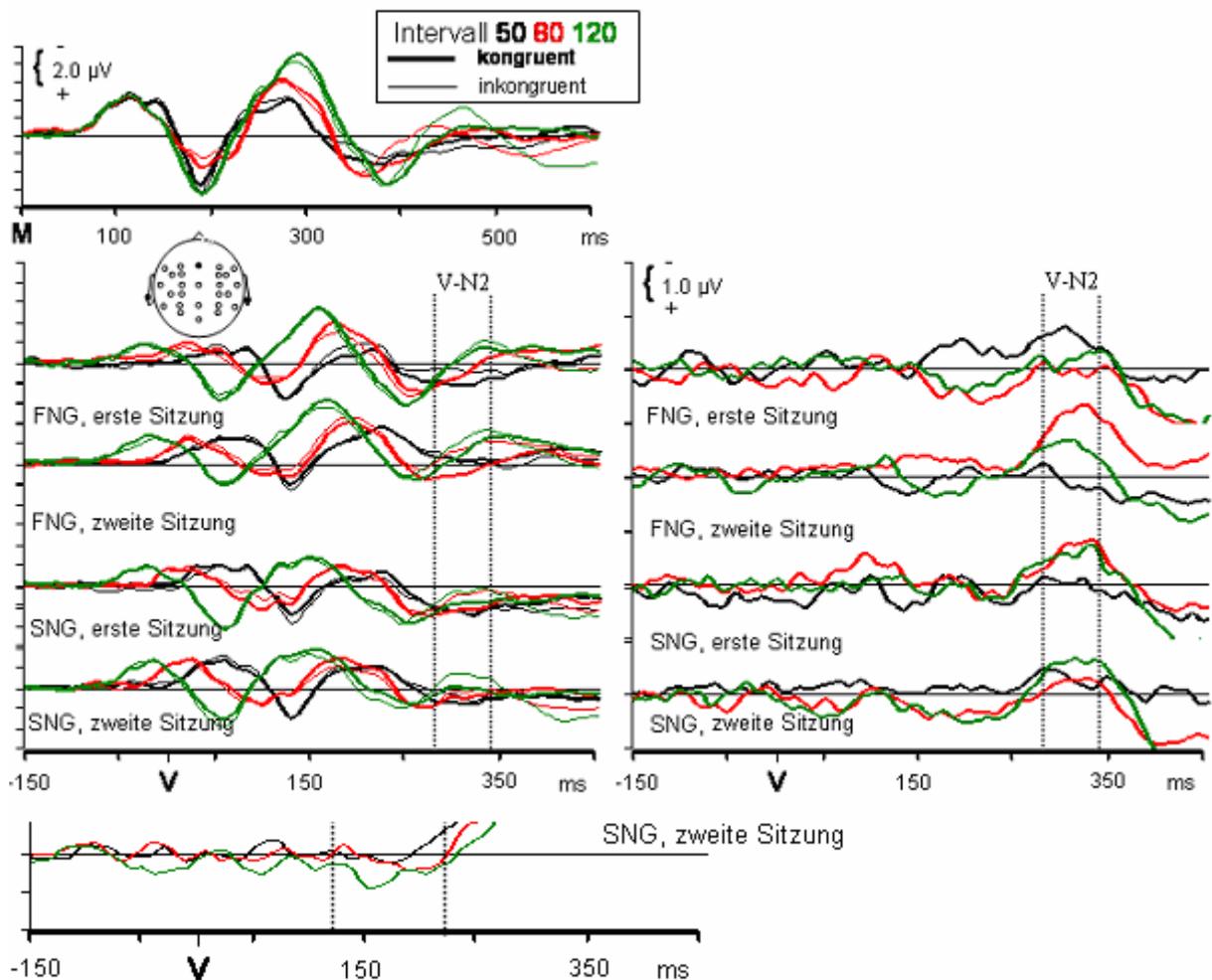


Abbildung 12: Diese Abbildung zeigt die gemittelten Werte der ereignisverknüpften Potentiale im WR-Teil, gemessen am Ort Fz. Linke Hälfte: Im oberen Feld wurden die Daten aller Probanden über beide Sitzungen gemittelt. Die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der maskierten Stimuli, als M (für maskiert) auf der X-Achse aufgetragen. In den vier unteren Feldern sind die Daten separat für beide Sitzungen und beide Gruppen (FNG=Früh-Nacht-Gruppe und SNG=Spät-Nacht-Gruppe) dargestellt. Die Zeitreferenz wurde, mit Zeitpunkt Null beim Erscheinen der sichtbaren Stimuli, als V (für sichtbar) auf der X-Achse aufgetragen, um die N2, die durch die sichtbaren Stimuli evoziert wurde, zwischen den

Konditionen vergleichen zu können. Rechte Hälfte: Hier sind die Differenzen der inkongruenten abzüglich der kongruenten Durchgänge für die korrespondierenden Felder der linken Hälfte dargestellt, um den N2-Effekt hervorzuheben. Man beachte den größeren Maßstab in diesen Feldern. Negative Ausschläge sind aufwärts eingezeichnet. Markierungen der Y-Achse bezeichnen 1 μ V. Schwarze Kurven sind von Durchgängen mit dem Intervall 50 ms, rote Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 80 ms und grüne Kurven von Durchgängen mit dem Intervall 120 ms. In der linken Hälfte sind die dick gedruckten Linien von kongruenten Durchgängen und die dünn gedruckten Linien von inkongruenten Durchgängen. Das Zeitfenster markiert den Bereich, an dem die N2 gemessen wurde.

Korrelationen zwischen den Veränderungen der ERP-Parameter und den Schlafparametern: Die Schlafparameter wurden mit den Veränderungen der Differenzen der N1 zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen (gemittelt aus Ableitungen von P7 und P8) von der ersten zur zweiten Sitzung korreliert. Des Weiteren wurden sie mit den Veränderungen der Amplituden der LRP-Wendepunkte und den Differenzen der N1 zwischen kongruenten und inkongruenten Durchgängen von der ersten zur zweiten Sitzung korreliert. Von den über alle Intervalle zusammengefassten Korrelationen war eine der über alle Probanden berechneten 18 Korrelationen signifikant mit $p < .05$, $r(30) = -0.39$, $p = .03$: Die Probanden mit einem größeren Anteil an S4-Schlaf hatten einen größeren Anstieg des Effekts der Kongruenz auf ihre N2. Diese Korrelation wurde durch Daten für das Intervall 80 gestützt, wo diese Korrelation folgende Werte erbrachte $r(30) = -0.59$, $p < .001$ (siehe Abbildung 13). Der Ursprung dieser Korrelation lag in der Früh-Nacht-Gruppe, da es kaum irgendwelche Variationen des S4-Schlafes in der Spät-Nacht-Gruppe gab. In der Früh-Nacht-Gruppe betrug die Korrelation $r(13) = -0.52$, $p = .047$ für die über Intervalle zusammengefasste N2, $r(13) = -.63$, $p = .01$ für das Intervall 80; in der Spät-Nacht-Gruppe für die zusammengefassten Daten $r(15) = 0.32$, keine Signifikanz und $r(15) = +0.52$, $p = .03$ für das Intervall 80.

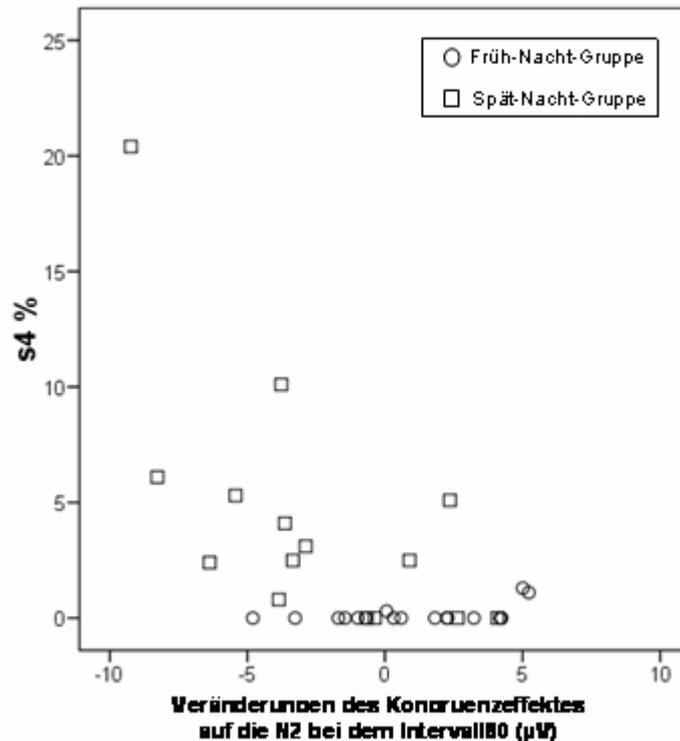


Abbildung 13: Diese Abbildung zeigt die Korrelation zwischen dem Anstieg des Kongruenzeffektes auf die N2 (in μV) im WR-Teil von der ersten zur zweiten Sitzung und dem prozentualen Anteil der Zeit zwischen den Sitzungen, die im REM-Schlaf verbracht wurde.

III.4. Subjektive Bewertung

Die Probanden fühlten sich subjektiv in der zweiten Sitzung weniger aktiviert, weniger konzentriert und weniger angespannt als in der ersten Sitzung (Haupteffekt der Sitzung: $F(1,32) \geq 6.5$, $p < .02$). Die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe bewerteten ihre Aktivität generell etwas niedriger als die Probanden der Spät-Nacht-Hälfte (Haupteffekt der Gruppe: $F(1,32) = 10.1$, $p = .003$) und bewerteten ihre Schläfrigkeit ($F(1,32) = 4.2$, $p = .049$) und ihre Müdigkeit ($F(1,32) = 7.3$, $p = .01$) höher als die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe. Keine der Interaktionen von Sitzung \times Gruppe erreichte ein Signifikanzniveau.

IV. Diskussion

In dieser Studie wurde untersucht, ob sich eine doppelte Dissoziation für Effekte von Schlaf auf Veränderungen in der Prozessierung von metakontrast-maskierten Stimuli nachweisen lässt. Vom Früh-Nacht-Schlaf (reich an SWS), bekannt für die Förderung von Prozessen des deklarativen Lernens, wurde angenommen, dass er nützlich für das Erlernen der Identifizierung von maskierten Stimuli ist. Im Gegensatz dazu wurde vom Spät-Nacht-Schlaf (reich an REM-Phasen), bekannt für die Förderung des Erlernens visuo-motorischer Fähigkeiten, angenommen, dass er nützlich für die Förderung des Bahnungseffektes dieser Stimuli für die Antworten auf die nachfolgenden sichtbaren Stimuli ist. Es wurden Effekte des Schlafes auf das offenkundige Verhalten und die ereignisbezogenen EEG-Potentiale getestet.

IV.1. Verhalten

Im Gegensatz zu unserer Arbeitshypothese schien der Spät-Nacht-Schlaf durchgehend wichtig zu sein. Dies betraf sowohl die Bahnung als auch die Reizidentifikation. Verbesserungen in der Identifikation von maskierten Stimuli waren auf die am wenigsten komplett maskierten Stimuli begrenzt, die von den folgenden voll sichtbaren Stimuli durch ein Intervall von 120 ms getrennt waren. Mit diesen Stimuli stieg d' von 0.66 vor dem Spät-Nacht-Schlaf auf 0.97 danach, was übersetzt in einen Anstieg der Prozente von korrekten Antworten 68% auf 75% bedeutete. Aufgrund der Differenzen in den Paradigmen und Stimuli ist es schwer, quantitative Vergleiche dieser Effekte zu vorangegangenen Studien von Karni et al. (1994), Gais et al. (2000) und Stickgold et al. (2000), in denen peripher präsentierte Reize identifiziert werden mussten, zu machen. Qualitativ ist das Ergebnis, dass Verbesserungen auf den Spät-Nacht-Schlaf begrenzt sind, gut mit Karni et al. (1994) vereinbar, der in seiner Studie beschrieb, dass eine selektive Deprivation des REM-Schlafes das Lernen verschlechtert. Da sie das REM-Deprivationsprotokoll als unphysiologisch kritisierten, testeten Gais et al. (2000) ein schlafbezogenes Lernen der Aufgabenstellung von Karni et al. mittels Nachthälftenversuchsplan, wie es auch in unserer Studie verwendet wurde, und fanden Verbesserungen nach SWS-reichem Früh-Nacht-Schlaf und fehlende Verbesserungen nach

REM-reichem Spät-Nacht-Schlaf. Demnach unterscheiden sich die hier vorliegenden Ergebnisse von denen von Gais et al. Zusätzlich zu den Differenzen in den Stimuli und Aufgaben spielten vielleicht subtile Differenzen in der Manipulation des Schlafes eine Rolle bei der Entstehung dieser divergenten Resultate. Karni & Sagi (1993) konnten empirisch ein unteres Limit von acht Stunden zwischen den Lerneinheiten zur Verbesserung ihrer Ausführung nachweisen. Dies stand im Widerspruch zu den schnellen Lernfortschritten, die sonst oft im Zusammenhang mit perzeptuellen Lernen beobachtet wurden (Fahle, 2004). Gais et al. verlängerten das Intervall zwischen der ersten und zweiten Sitzung durch eine zusätzliche Wachphase von drei Stunden, um diesem empirischen Limit zu entsprechen. Damit war ihr Intervall länger als in der vorliegenden Studie. Besonders relevant könnte sein, dass diese Wachintervalle asymmetrisch in Bezug auf die zwischenzeitlichen drei Stunden Schlaf waren: In ihrer Früh-Nacht-Bedingung endete die erste Sitzung vier Stunden vor dem Schlaf (19:00 Uhr) und die zweite Sitzung begann sofort nach dem Schlaf (02:30 Uhr). Im Gegensatz dazu endete die erste Sitzung der Spät-Nacht-Kondition sofort vor dem Schlaf (02:30 Uhr) und die zweite Sitzung begann vier Stunden nach dem Schlaf (11:00 Uhr). Wenn also die Konsolidierungsfunktion des Schlafes durch Wachperioden zwischen dem Lernen und Schlafen gefördert würde, aber nicht durch Wachperioden zwischen dem Schlafen und der anschließenden Testung, hätte nur die Früh-Nacht-Kondition von Gais et al. möglicherweise einen Vorteil. Ein anderer Unterschied, zum Nachteil der vorliegenden Studie, bezieht sich auf die Schlafarchitektur. Es scheint, dass die Probanden von Gais et al. besser schliefen. Die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe von Gais et al. wiesen eine SWS-Rate von 39% auf, im Gegensatz zu 23% bei den Probanden der vorliegenden Studie. Die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe von Gais et al. erreichten 31% REM während die Probanden der vorliegenden Studie mit nur 22% REM im Spät-Nacht-Schlaf wieder unter den erreichten Werten von den Probanden von Gais et al. blieben. Ein Grund für diese Differenzen könnte sein, dass die Probanden von Gais et al. besser an das Schlaflabor adaptiert waren, da die Nachthälftenvariation innerhalb der gleichen Versuchspersonen verwirklicht war, sodass derselbe Proband zweimal zum Schlafen in das Schlaflabor kam. Auf der anderen Seite war die Separation zwischen SWS und REM in der vorliegenden Studie besser ausgebildet, da die Früh-Nacht-Gruppe fünf Mal mehr SWS als REM (Gais et al.: drei Mal) und die Spät-Nacht-Gruppe fünf Mal mehr REM als SWS (Gais et al.: zwei Mal) aufwies. Folglich kann jede dieser drei Differenzen (Intervall zwischen erster und zweiter Sitzung, Schlafqualität, SWS/REM-Verhältnis) eine Rolle gespielt haben.

Soweit mir bekannt, gibt es bisher keine Studie, die über Veränderungen von visuomotorischem Priming über den Schlaf, induziert durch subliminale Stimuli, berichtet. Es fand sich in unserer Studie kein Effekt auf die Antwortzeiten, aber ein ausgeprägter Effekt auf den Fehler, der durch die maskierten Stimuli hervorgerufen wurde: Während diese Fehler über den Schlaf in der Früh-Nacht-Gruppe weniger wurden, tendierten sie in der Spät-Nacht-Gruppe dazu anzusteigen, mit einer engen Korrelation zu der Zeit, die im REM-Schlaf verbracht worden ist. Diese Korrelation war besonders beim Intervall 80 ausgeprägt, was auch naheliegend ist, weil bei diesem Intervall erwartet wurde, dass das Lernen seinen größten Einfluss nehmen kann, da das mittlere Intervall genau die Grenze zwischen der kompletten Maskierung und der Sichtbarkeit darstellt. Der Anstieg der Verhaltensfehler könnte in der Tat ein Indikator für das perzeptuelle Lernen sein, da die Fehler durch steigenden Einfluss der maskierten Bahnungsreize auf das Verhalten anstiegen. Diese Ergebnisse passen gut zu den reliablen Evidenzen für die fördernde Funktion von Spät-Nacht-Schlaf auf Spiegel-Nachzeichnen-Versuche (Plihal & Born, 1997; Gais & Born, 2004) und für die Korrelation zwischen der im REM-Schlaf verbrachten Zeit und einer Verbesserung in der Rotorverfolgungsaufgabe (Peters et al., 2007). Aber es könnte argumentiert werden, dass, obgleich sicherlich visuomotorische Fähigkeiten benötigt werden, diese Aufgaben nur eine lockere Verbindung zum visuomotorischen Priming besitzen. Mehr verwandt könnten Aufgaben sein, in denen Regelmäßigkeiten in den Sequenzen von visuellen Stimuli existieren und in denen korrespondierende motorische Antworten implizit gelernt werden. Unter Verwendung des seriellen Wahl-Reaktions-Teils berichteten Robertson et al. (2004), dass implizites unbeabsichtigtes Lernen nur von der dazwischenliegenden Zeit und nicht vom Schlaf an sich abhängt (im Gegensatz zum beabsichtigten Lernen), aber Cohen et al. (2005) fügten hinzu, dass dies nur für die motorischen Komponenten der Aufgabe gilt, wohingegen das Lernen der visuellen Sequenzen, selbst wenn es unbeabsichtigt ist, in der Tat vom Schlaf abhängt und mit der im REM-Schlaf verbrachten Zeit korreliert. Ein anderes Paradigma, welches nützlich in der Erforschung von Effekten des impliziten Lernen ist, stellt die number-reduction-task (NRT) dar, wie sie in vorherigen Studien aus unserer Arbeitsgruppe zur Messung von expliziter Einsicht (Wagner et al., 2004) benutzt wurde. In der Tat konnte man bei den Probanden der gegenwärtigen Studie feststellen, dass die Antwortzeiten von Antworten, die durch unterschwellige Regeln präterminiert waren, abnahmen und dass dies signifikant häufiger in der Spät-Nacht-Gruppe als in der Früh-Nacht-Gruppe vorkam (Manuskript in Vorbereitung). Dementsprechend deutet die gegenwärtige Evidenz eine

Rolle des REM-Schlafs im visuomotorischen Priming von subliminal erkannten Stimuli an und erweitert damit bedeutungsvoll die existierende Anzahl der Resultate.

IV.2. ERPs

Aus den vielen verschiedenen möglichen Parametern, die in den ereignisbezogenen Potentialen hätten gemessen werden können, beschränkten wir uns in dieser Studie auf Korrelate der visuellen Diskrimination im SD-Teil (posteriore N1) und auf die motorische Bahnung und das Konfliktmonitoring im WR-Teil (frühe LRP, frontale N2).

Die posteriore N1, evoziert durch die maskierten Stimuli im SD-Teil, differenziert in der Tat zwischen Stimuli mit Zielreiz und Stimuli ohne Zielreiz. Des Weiteren stieg ihre Amplitude in der rechten Hemisphäre über die Sitzungen beim Intervall 50 ms, was naheliegend sein könnte, weil Veränderungen des Lernens der Erkennung maskierter Stimuli bei diesem Intervall trotz großer Schwierigkeit vorkommen könnten. Diese Effekte wurden weder unterschiedlich durch den Früh- und Spät-Nacht-Schlaf in der ANOVA beeinflusst, noch korrelierten die Veränderungen von der ersten zur zweiten Sitzung mit den Parametern des Schlafes. Die gegensätzlichen Tendenzen der Amplituden der beiden Gruppen über die beiden Sitzungen waren unabhängig von der Präsenz oder Abwesenheit eines Zielreizes. Daher waren diese Amplitudenänderungen wahrscheinlich unspezifische Korrelate der unterschiedlichen Zeitpunkte in der Nacht, an denen getestet wurde. Schlussfolgerung für die N1-Ergebnisse ist daher: Obwohl dieses ERP-Maß sehr sensibel im Bezug auf die differenzierte Perzeption von präsenten gegenüber fehlenden Zielreizen in den maskierten Stimuli war, konnte keine spezielle Rolle des Früh-Nacht-Schlafes oder des Spät-Nacht-Schlafes durch dieses Maß bestätigt werden.

Die Fluktuationen des LRP, induziert durch die maskierten Stimuli im WR-Teil, differenzierten in der Tat zwischen kongruenten und inkongruenten Sequenzen von maskierten und sichtbaren Stimuli, wie es auch schon vorher viele Male gezeigt wurde (Dehaene et al., 1998; Leuthold & Kopp, 1998; Eimer & Schlaghecken, 1998; Jaśkowski et al., 2002; Jaśkowski et al., 2007; Praamstra & Seiss, 2005). Die Messung der maximalen Ausdehnung der Amplitude erfolgte bis zu dem Zeitpunkt, an dem die sichtbaren Stimuli anfangen, den Effekt zu beeinflussen („Wendepunkt“). Diese Messung konnte nur in inkongruenten Durchgängen durchgeführt werden, da es keine deutlichen Übergänge

zwischen Effekten von maskierten und sichtbaren Stimuli in kongruenten Durchgängen gab. Von potentiell Interesse könnte sein, dass der Wendepunkt der LRP in inkongruenten Durchgängen, als ein Maß des Bahnungseffekts, selektiv in der Früh-Nacht-Gruppe über die Sitzungen bei einem Intervall von 120 ms anstieg.

Dies könnte einen Effekt des Früh-Nacht-Schlafes auf das Priming zeigen. Dieser Effekt korrelierte aber nicht mit den Schlafparametern und hatte keine Korrelate in den Verhaltensparametern der Früh-Nacht-Gruppe und könnte dementsprechend wieder unspezifisch vom Testzeitpunkt abhängig sein. So folgerten wir, wie bei der N1, dass, obwohl die LRP sehr sensibel für Effekte der maskierten Stimuli auf die motorische Aktivierung war, eine spezielle Rolle des Früh- oder Spät-Nacht-Schlafes durch dieses Maß nicht bestätigt werden konnte.

Auch die N2-Komponente, ausgelöst durch sichtbare Stimuli, differenzierte zwischen kongruenten und inkongruenten Sequenzen und war in inkongruenten Durchgängen größer (das heißt, wenn die Seite des Zielreizes sich zwischen maskierten und sichtbaren Stimuli unterschied), was bereits in mehreren vorangegangenen Studien gezeigt wurde (Jaśkowski et al., 2003; Praamstra & Seiss, 2005; Verleger & Jaśkowski, 2007). Von möglichem Interesse war hier, dass der Inkongruenzeffekt von der ersten zur zweiten Sitzung speziell für Durchgänge mit einem Intervall von 80 ms in der Früh-Nacht-Gruppe anstieg und dass dieser Anstieg im Verhältnis zur Menge des S4-Schlafes stand. In der Einleitung wurde angemerkt, dass man von der N2 glaubt, dass sie die Registrierung von konfliktbehafteten Informationen reflektiert. Die Diskussion darüber dauert noch an, ob die N2 nicht nur die Registrierung konfliktbehafteter Informationen, sondern auch Kontrollprozesse wie die Tätigkeitsüberwachung oder Inhibierung von interferierenden Informationen in einer übergeordneten Instanz widerspiegelt (Donkers & van Boxtel, 2004; Donkers et al., 2005; Kopp et al., 1996; Kopp et al., 2006; Potts et al., 2006; Wang et al., 2004). Solche Kontrollprozesse sind bekannt dafür, dass sie durch Schlafdeprivation in Mitleidenschaft gezogen werden (z.B. Gosselin et al., 2005). Deshalb ist zu vermuten, dass Kontrollprozesse, wie durch die N2-Komponente angezeigt, besonders durch den tiefen SWS gefördert werden und dass der Anstieg der N2-Komponente im Zusammenhang mit dem mangelnden Anstieg des Bahnungseffektes auf das in der Früh-Nacht-Gruppe gezeigte Verhalten steht. Dieser mögliche Zusammenhang wird hier erwähnt, da der Fehleranstieg in der Spät-Nacht-Gruppe als Indikator für insuffiziente Verhaltenskontrolle gedeutet werden könnte. In diesem Falle könnte der fehlende Anstieg in der Früh-Nacht-Gruppe auf eine suffiziente Verhaltenskontrolle hinweisen, die einen Anstieg eines

visuomotorischen Bahnungseffektes durch die Betätigung falscher Tasten verhindert. Entsprechend dieser Spekulation könnte der Spät-Nacht-Schlaf eine besondere Rolle in der Förderung visuomotorischer Bahnungsprozesse einnehmen, aber der Früh-Nacht-Schlaf würde eine spezielle Rolle in der Förderung von Verhaltenskontrollen im Bezug auf interferierende Effekte des Bahnungseffektes spielen.

Soweit mir bekannt gibt es bis jetzt nur eine einzige Studie, die schlafbezogene Konsolidierungen von Gedächtnisinhalten vor und nach dem Schlaf zusammen mit ereignisevozierten Potentialen untersucht hat. Atienza et al. (2004; siehe auch Atienza et al., 2005) trainierten Probanden in der Tonhöhendiskrimination von Tönen, die in einer schnellen Sequenz von anderen Tönen eingebettet waren. Die Effizienz der Diskrimination nahm innerhalb von 48 Stunden zu, und zwar unabhängig davon, ob die Probanden nach dem Training schliefen oder am Schlafen gehindert wurden. Die ERPs, die sich auf die Wahrnehmung der auditiven Veränderungen bezogen (Mismatch Negativity und P3a), wurden gemessen, während die Probanden Bücher lasen, und nicht etwa, während sie aktiv die Stimuli diskriminierten. Diese ERPs stiegen bei den Probanden an, denen erlaubt worden war, nach dem Training zu schlafen. Deshalb erscheinen diese ERPs sensitiver als die Ausführungsparameter der Diskrimination. Aber die vielen Unterschiede zwischen der vorliegenden Studie und der Studie von Atienza et al. (2004) in der Stimulusmodalität, der Aufgabe der Probanden und der Art der Schlafmanipulation verhindern einen näheren Vergleich der Ergebnisse.

Da in der vorliegenden Studie keine Wach-Kontrollgruppe eingesetzt wurde, um Effekte zu kontrollieren, die einfach durch den entsprechenden Zeitpunkt in der Nacht zustande kamen, wurden nur Differenzen zwischen den Nachthälften als relevant berücksichtigt, bei denen eine Korrelation zwischen Messung und bestimmten Schlafstadien ermittelt werden konnte. Obwohl auch diese Korrelationen nicht unbedingt einen Anhalt für Kausalität darstellen (Schabus et al., 2006), bieten sie zumindest eine solide Grundlage für weitergehende Hypothesen. Die Beeinflussung durch die Nachtzeit könnte relevant in Hinsicht auf die subjektive Einschätzung der Aktivität und Müdigkeit der Probanden gewesen sein. Unerwarteter Weise fühlten sich die Probanden der Früh-Nacht-Gruppe durch die ungewöhnliche Zeit der Testung stärker gestört als die Probanden der Spät-Nacht-Gruppe.

Man benötigt weitergehende Forschungen um auszuschließen, dass die größeren Effekte im Verhalten der Spät-Nacht-Gruppe nur unspezifischen Differenzen entsprachen.

Schlussfolgerung: In Hinsicht auf offenkundiges Verhalten war der Spät-Nacht-Schlaf relevanter als der Früh-Nacht-Schlaf. Dies bezog sich sowohl auf die Identifizierung der maskierten Stimuli als auch auf den Bahnungseffekt der maskierten Stimuli. Der ERP-Effekt auf die N2-Komponente könnte einen möglichen Grund für das Fehlen eines ansteigenden Bahnungseffektes mit dem Früh-Nacht-Schlaf andeuten, indem eine Aktionskontrolle durch den Früh-Nacht-Schlaf gefördert und dadurch möglicherweise eine Verbesserung des subliminalen Bahnungseffektes verhindert wird. Obwohl wir keinen eindeutigen Beleg für das Vorliegen einer ursprünglich angenommenen doppelten Dissoziation von Effekten des Früh-Nacht- und Spät-Nacht-Schlafes auf die Identifikation von maskierten Stimuli und ihrer Priming-Effekte finden konnten, geben die vorliegenden Ergebnisse einige Hinweise darauf, wie unterschiedlich kognitive Aspekte des perzeptuellen Lernens von den verschiedenen Schlafstadien profitieren.

V. Zusammenfassung

Schlaf fördert erwiesenermaßen Gedächtniskonsolidierungen in verschiedenen Aufgaben, unter anderem auch das Erlernen perzeptueller Fähigkeiten. Expliziten bewussten Gedächtnisarten ist ein besonderer Nutzen durch den Tiefschlaf (slow-wave-sleep/SWS) nachgewiesen worden, wohingegen implizite unbewusste Gedächtnisarten vom REM-Schlaf (rapid-eye-movement-sleep) profitierten. Durch einen Vergleich der Effekte des Früh-Nacht-Schlafes, reich an Tiefschlaf, und des Spät-Nacht-Schlafes, reich an REM-Schlaf, beabsichtigten wir eine Trennung zwischen den Einflüssen dieser beiden Schlafstadien zu erreichen. Dieser Vergleich wurde unter Zuhilfenahme eines Metakontrast-Paradigmas durchgeführt, in dem explizite und implizite Aspekte des perzeptuellen Lernens jeweils separat auf Stimulusidentifikation und Bahnungseffekt hin untersucht wurden. Wir vermuteten, dass der zwischen den beiden Aufgaben liegende Früh-Nacht-Schlaf speziell die Stimulusidentifikation fördern würde, wohingegen der Spät-Nacht-Schlaf eine unterstützende Rolle auf den Bahnungseffekt ausüben würde. Zusätzlich zum offen sichtbaren Verhalten der Probanden wurden ereignisevozierte Potentiale (event-related-potentials/ERPs) gemessen, um die kortikalen Mechanismen aufzuzeichnen, die mit den Verhaltensänderungen über den Schlaf assoziiert waren. Im Gegensatz zu unserer Hypothese scheint der Spät-Nacht-Schlaf, im Gegensatz zum Früh-Nacht-Schlaf, generell wichtiger für die Verhaltensänderungen zu sein, sowohl was die Stimulusidentifikation als auch was den Bahnungseffekt betrifft. Die Stimulusidentifikation tendierte dazu, sich über den Spät-Nacht-Schlaf zu verbessern und die Fehlerrate beim Bahnungseffekt, die durch die maskierten Stimuli zustande kam, korrelierte mit der im REM-Schlaf verbrachten Zeit. Die ERPs zeigten sich sensitiv in Bezug auf die Präsenz von Zielreizen in den maskierten Stimuli und ihren Bahnungseffekten. Von den ERP-Komponenten erbrachte die N2-Komponente die interessantesten Ergebnisse, welche die Verarbeitung von konflikthafter Information anzeigt. Je mehr Zeit ein Proband der Früh-Nacht-Gruppe im Schlafstadium S4 verbrachte, dem tiefsten Substadium des Tiefschlafes mit einem hohen Anteil an langsamen Wellen, desto größer wurde die N2 über den Früh-Nacht-Schlaf. Diese Ergebnisse legen nahe, dass der Schlaf das perzeptuelle Lernen primär durch seinen Anteil an REM-Schlaf fördert, indirekt auch durch verfeinerte Aktionsüberwachung, die durch den SWS unterstützt wird.

VI. Literaturverzeichnis

- Atienza, M., Cantero, J.L., & Stickgold, R. (2004) Posttraining sleep enhances automaticity in perceptual discrimination. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16:53-64
- Atienza, M., Cantero, J.L., & Quiñan Quiroga, R. (2005) Precise timing accounts for posttraining sleep-dependent enhancements of the auditory mismatch negativity. *NeuroImage*, 26:628-634
- Bernat, E., Shevrin, H., & Snodgrass, M. (2001) Subliminal visual oddball stimuli evoke a P300 component. *Clinical Neurophysiology*, 112:159-171
- Born, J., Plihal, W. (2000) Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51:198-208
- Brázdil, M., Rektor, I., Daniel, P., Dufek, M., & Jurák, P. (2001) Intracerebral event-related potentials to subthreshold target stimuli. *Clinical Neurophysiology*, 112:650-661
- Breitmeyer, B., & Ögmen, H. (2006) *Visual masking. Time slices through conscious and unconscious vision*. New York: Oxford University Press
- Cohen, N.J. & Squire, L. R. (1980) Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, 210:207-210
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'h, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., van de Moortele, P.-F., & Le Bihan, D. (1998) Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, 395:597-600
- Donkers, F.C.L., & van Boxtel, G.J.M. (2004) The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and Cognition*, 56:165-176
- Donkers, F.C.L., Nieuwenhuis, S., & van Boxtel, G.J.M. (2005) Medial frontal negativities in the absence of responding. *Cognitive Brain Research*, 25:777-787
- Eimer, M., & Schlaghecken, F. (1998) Effects of masked stimuli on motor activation: behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24:1737-1747
- Fahle, M. (2004) Perceptual learning: A case for early selection. *Journal of Vision*, 4:879-890

- Fischer, S., Nitschke, M.F., Melchert, U., Erdmann, C., & Born, J. (2005) Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. *The Journal of Neuroscience*, 25:11248-11255
- Gais, S., & Born, J. (2004) Low acetylcholine during slow-wave sleep is critical for declarative memory consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101:2140-2144
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U., & Born, J. (2000) Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nature Neuroscience*, 3:1335-1339
- Gosselin, A., De Koninck, J., & Campbell, K.B. (2005) Total sleep deprivation and novelty processing: implications for frontal lobe functioning. *Clinical Neurophysiology*, 116:211-222
- Jaśkowski, P., van der Lubbe, R.H.J., Schlotterbeck, E., & Verleger, R. (2002) Traces left on visual selective attention by stimuli that are not consciously identified. *Psychological Science*, 13:48-54
- Jaśkowski, P., Skalska, B., & Verleger, R. (2003) How the self controls its “automatic pilot” when processing subliminal information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15:911-920
- Jaśkowski, P., Białuńska, A., Tomanek, M., & Verleger, R. (2008) Mask- and distractor-triggered inhibitory processes in the priming of motor responses. *Psychophysiology*, 45:70-85
- Karni, A., & Sagi, D. (1993) The time course of learning a visual skill. *Nature*, 365:250-252
- Karni, A., Tanne, D., Rubenstein, B.S., Askenasy, J.J., & Sagi, D. (1994) Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*, 265:679-682
- Klotz, W., & Neumann, O. (1999) Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25:976-992
- Kopp, B., Rist, F., & Mattler, U. (1996) N200 in the flanker task as a neurobehavioral tool for investigating executive control. *Psychophysiology*, 33:282-294
- Kopp, B., Tabeing, S., Moschner, C., & Wessel, K. (2006) Fractionating the neural mechanisms of cognitive control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18:949-965
- Leuthold, H., & Kopp, B. (1998) Mechanisms of priming by masked stimuli: inferences from event-related brain potentials. *Psychological Science*, 9:263-269

- Ludwig, I., & Skrandies, W. (2002) Human perceptual learning in the peripheral visual field: sensory thresholds and neurophysiological correlates. *Biological Psychology*, 59:187-206
- Nicolau, M. C., Akaarir, M., Gamundi, A., Gonzalez, J. & Rial, R. V. (2000) Why we sleep: the evolutionary pathway to the mammalian sleep. *Progress in Neurobiology*, 62:379-406
- Plihal, W., & Born, J. (1997) Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9:534-547
- Potts, G.F., Martin, L.E., Burton, P., & Montague, P.R. (2006) When things are better or worse than expected: The medial frontal cortex and the allocation of processing resources. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18:1112-1119
- Praamstra, P., & Seiss, E. (2005) The neurophysiology of response competition: motor cortex activation and inhibition following subliminal response priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:483-493
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. (1968) *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Los Angeles: Brain Information Service, University of California
- Robertson, E.M., Pascual-Leone, A., & Press, D.Z. (2004) Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. *Current Biology*, 14:208-212
- Schabus, M., Hödlmoser, K., Gruber, G., Sauter, C., Anderer, P., Klösch, G., Parapatics, S., Saletu, B., Klimesch, W., & Zeitlhofer, J. (2006) Sleep spindle-related activity in the human EEG and its relation to general cognitive and learning abilities. *European Journal of Neuroscience*, 23:1738-1746
- Schmidt, R.F., Thews, G., & Lang, F. (2000) *Physiologie des Menschen*. Berlin: Springer Verlag, 148-149
- Schmidt, T., & Vorberg, D. (2006) Criteria for unconscious cognition: Three types of dissociation. *Perception & Psychophysics*, 68:489-504
- Scott, L.S., Tanaka, J.W., Sheinberg, D.L., & Curran, T. (2006) A reevaluation of the electrophysiological correlates of expert object processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18:1453-1465
- Sessa, P., Luria, R., Verleger, R., & Dell'Acqua, R. (2007) P3 latency shifts in the attentional blink: Further evidence for second target processing. *Brain Research*, 1137:131-139

- Shevrin, H. (2001) Event-related markers of unconscious processes. *International Journal of Psychophysiology*, 42:209-218
- Squire, L.R. (1992) Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99:195-231
- Squire, L.R. (1998) Memory systems. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série III*, 321:153-156
- 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
- Verleger, R., & Jaśkowski, P. (2007) Disentangling neural processing of masked and masking stimulus by means of event-related contralateral – ipsilateral differences of EEG potentials. *Advances in Cognitive Psychology*, 3:193-210
- Verleger, R., Jaśkowski, P., Aydemir, A., van der Lubbe, R.H.J., & Groen, M. (2004) Qualitative differences between conscious and non-conscious processing? On inverse priming induced by masked arrows. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133:494-515
- Vogel, E.K., & Luck, S.J. (2002) Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9:739-743
- Vorberg, D., Mattler, U., Heinecke, A., Schmidt, T., & Schwarzbach, J. (2003) Different time-courses for visual perception and action priming. *Proceedings of the National Academy of Science*, 100:6275-6280
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004) Sleep inspires insight. *Nature*, 427:352-355
- Wang, G., & Suemitsu, K. (2007) Object recognition learning differentiates the representations of objects at the ERP component N1. *Clinical Neurophysiology*, 118:372-380
- Wang, Y., Cui, L., Wang, H., Tian, S., & Zhang, X. (2004) The sequential processing of visual feature conjunction mismatches in the human brain. *Psychophysiology*, 41:21-29
- Webb, W.B. (1988) An objective behavioral model of sleep. *Sleep*, 11:488-496
- Wills, A.J., Lavric, A., Croft, G.S., & Hodgson, T. (2007) Predictive learning, prediction errors, and attention: Evidence from event-related potentials and eye tracking. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19:843-854

VII. Filmografie

Demolition Man, USA, 1993, Marco Brambilla

Friends, Staffel 3, Episode 18: „The One With The Hypnosis Tape“, USA, 1997, Robby Benson

The Simpsons, Staffel 3, Episode 22: „Barts Friend Falls in Love“, USA, 1992, Jim Reardon

VIII. Anhang

Fragebogen zu Probandendaten

Code: _____

Alter: _____ Jahre

Geschlecht: m w

Beruf/Studienfach:

Händigkeit: links rechts

Brillenträger: ja nein

Vorherige Lern- oder Schlafexperimente (wenn ja, welche)?

Welche Vorinformationen über aktuelles Experiment (Art der Aufgabe)?

PROBENACHT (nur Schlafgruppe)

Datum:

Gesundheit?

Letzte Mahlzeit?

Medikamente/Drogen?

Nichtraucher?

Nachtarbeit in den letzten 6 Wochen?

Kaffee/Cola nachmittags?

Heute besonderer Stress?

Aufstehen morgens/Schlaf tagsüber?

Frauen: Pille? Letzte Regel?

Licht aus/Einschlafen/Aufwecken:

Besonderheiten:

EXPERIMENTALNACHT

Datum:

Gesundheit?

Letzte Mahlzeit?

Medikamente/Drogen?

Nichtraucher?

Nachtarbeit in den letzten 6 Wochen?

Kaffee/Cola nachmittags?

Heute besonderer Stress?

Aufstehen morgens/Schlaf tagsüber?

Frauen: Pille? Letzte Regel?

Dauer Lernen/Testen

Schlaf-Gruppe: Licht aus/Einschlafen/Aufwecken:

Besonderheiten:

Fragebogen zur Befindlichkeit

Proband:

Alter: m w

Bedingung:

Uhrzeit:

Fragen zur aktuellen Befindlichkeit

Ich fühle mich jetzt gerade ...

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

Proband/Testdurchgang: _____

PANAS

Dieser Fragebogen enthält eine Reihe von Wörtern, die unterschiedliche Gefühle und Empfindungen beschreiben. Lesen sie jedes Wort und tragen sie dann in die Skala neben jedem Wort die Intensität ein. Sie haben die Möglichkeit, zwischen fünf Abstufungen zu wählen:

1. gar nicht
2. ein bisschen
3. einigermaßen
4. erheblich
5. äußerst

Geben Sie bitte an, wie Sie sich gerade jetzt im Moment fühlen.

	gar nicht	ein bisschen	einiger- maßen	erheblich	äußerst
aktiv	O-----O-----O-----O-----O				
bekümmert	O-----O-----O-----O-----O				
interessiert	O-----O-----O-----O-----O				
freudig erregt	O-----O-----O-----O-----O				
verärgert	O-----O-----O-----O-----O				
stark	O-----O-----O-----O-----O				
schuldig	O-----O-----O-----O-----O				
erschrocken	O-----O-----O-----O-----O				
feindselig	O-----O-----O-----O-----O				
angeregt	O-----O-----O-----O-----O				
stolz	O-----O-----O-----O-----O				
gereizt	O-----O-----O-----O-----O				
begeistert	O-----O-----O-----O-----O				
beschämt	O-----O-----O-----O-----O				
wach	O-----O-----O-----O-----O				
nervös	O-----O-----O-----O-----O				
entschlossen	O-----O-----O-----O-----O				
aufmerksam	O-----O-----O-----O-----O				
durcheinander	O-----O-----O-----O-----O				
ängstlich	O-----O-----O-----O-----O				

Fragebogen nach zweiter Computersitzung

Code: _____

für Schlaf-Probanden:

Wie beurteilst Du die Schlafqualität Deines Schlafes in den drei Stunden zwischen den beiden Computersitzungen? (Bitte ankreuzen)

sehr schlecht geschlafen O—O—O—O—O—O—O sehr gut geschlafen

Kannst Du Dich erinnern, heute Nacht im Schlaf in den drei Stunden zwischen den beiden Computersitzungen etwas geträumt zu haben, das mit einer der gelernten Aufgaben zu tun hatte?

Falls ja: Was? (ggf. Rückseite mitverwenden)

Hast Du heute Nacht in Wachphasen in den drei Stunden zwischen den beiden Computersitzungen (z.B. in der Zeit vor dem Einschlafen) über die Aufgabe mit den Quadraten und Karos nachgedacht?

Falls ja: Was genau?

Wann?

Wie lange?

Wie oft?

Hast Du heute Nacht in Wachphasen in den drei Stunden zwischen den beiden Computersitzungen (z.B. in der Zeit vor dem Einschlafen) über die Zahlenaufgabe nachgedacht?

Falls ja: Was genau?

Wann?

Wie lange?

Wie oft?

für Wach-Probanden:

Hast Du heute Nacht in der dreistündigen Wachzeit zwischen den beiden Computersitzungen über die Aufgabe mit den Quadraten und Karos nachgedacht?

Falls ja: Was genau?

Wann?

Wie lange?

Wie oft?

Hast Du heute Nacht in der dreistündigen Wachzeit zwischen den beiden Computersitzungen über die Zahlenaufgabe nachgedacht?

Falls ja: Was genau?

Wann?

Wie lange?

Wie oft?

Abschluss-Fragebogen

Code: _____

Wie beurteilen Sie die jetzt zu Ende gehende Experimentalnacht insgesamt?

interessant	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
anregend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
anstrengend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
langweilig	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
ermüdend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
motivierend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
langwierig	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
schwierig	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
unterhaltsam	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
aktivierend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr
belastend	gar nicht	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr

Wie schwierig fanden Sie die Aufgaben im Einzelnen in der ersten Computersitzung?

Quadrat/Karo 2. Reizpaar erkennen	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig
Quadrat/Karo 1. Reizpaar erkennen	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig
Zahlenaufgabe	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig

Wie schwierig fanden Sie die Aufgaben im Einzelnen in der zweiten Computersitzung?

Quadrat/Karo 2. Reizpaar erkennen	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig
Quadrat/Karo 1. Reizpaar erkennen	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig
Zahlenaufgabe	gar nicht schwierig	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr schwierig

Wie belastend fanden Sie die Aufgaben im Einzelnen in der ersten Computersitzung?

Quadrat/Karo 2. Reizpaar erkennen	gar nicht belastend	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr belastend
Quadrat/Karo 1. Reizpaar erkennen	gar nicht belastend	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr belastend
Zahlenaufgabe	gar nicht belastend	o-o-o-o-o-o-o-o	sehr belastend

Wie belastend fanden Sie die Aufgaben im Einzelnen in der zweiten Computersitzung?

Quadrat/Karo 2. Reizpaar erkennen

gar nicht belastend o-o-o-o-o-o-o-o sehr belastend

Quadrat/Karo 1. Reizpaar erkennen

gar nicht belastend o-o-o-o-o-o-o-o sehr belastend

Zahlenaufgabe

gar nicht belastend o-o-o-o-o-o-o-o sehr belastend

Würden Sie aus Ihrer Sicht als Proband Veränderungen bei der Durchführung der hier verwendeten Aufgaben in späteren Experimenten empfehlen? (Wenn ja, welche?)

Hat Ihre Motivation beim Ausführen der Aufgaben im Laufe der Zeit nachgelassen?

Falls ja: Ab wann ungefähr?

Sonstige Anmerkungen zum Experiment (evtl. Rückseite mitbenutzen):

IX. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Rolf Verleger. Ohne seine raschen und kritischen Korrekturen wäre es nicht möglich gewesen, diese Arbeit so zügig und präzise zu Papier zu bringen. Zu danken habe ich auch meinem Betreuer Dr. Ulrich Wagner für seine Hilfe bei der Planung und Ausführung der praktischen Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr. Detlef Kömpf möchte ich mich für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und der Materialien bedanken. Auch bei dem gesamten Team des Schlaflabors bedanke ich mich für seine engagierte Mithilfe. Zhamak Bataghva, mit der ich viele Nächte im Schlaflabor bestritt, möchte ich hier ausdrücklich für die gute Zusammenarbeit und die gemeinsam verbrachte Zeit danken. Nora Hennies möchte ich für das Scoring der Hypnogramme danken. Manfred Bittelbrunn danke ich für die Korrektur dieser Arbeit und für seine kritischen Anmerkungen. Florian Evers danke ich für seine offenen Worte und seine Hilfe in cineastischen Fragen. Des Weiteren möchte ich mich bei meiner gesamten Familie für ihre Rückendeckung und ihre stets motivierenden Zusprüche bedanken. Zu guter Letzt danke ich meiner Freundin Nicole Bittelbrunn für ihre stetig währende Hilfe und ihre aufmunternden Worte.

X. Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Simon-Vitus Schuknecht
Geburtsdatum: 24.11.1980
Geburtsort: Eutin
Familienstand: ledig

Schulbildung

1986-1990 Grundschule Bad Malente-Gremsmühlen
1990-2000 Johann-Heinrich-Voß-Gymnasium Eutin
Abitur

Zivildienst

2000-2001 Zivildienst in der Sozialstation Bad Malente-Gremsmühlen

Studium

Okt. 2001 Universität zu Lübeck
Aufnahme des Medizinstudiums
Sept. 2003 Ärztliche Vorprüfung
2006-2007 Praktisches Jahr

Promotion

April 2004 – Mai 2005 Durchführung der experimentellen Arbeit