

Aus der Klinik für Neurologie
(Direktorin: Prof. Dr. med. D. Berg)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**SCHLAF UND PLASTIZITÄT:
SCHLAF KONSOLIDIERT WISSEN
AUS KOMPLEXEN SYSTEMEN**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
INGA STROBEL
geb. Gnegel
aus
Hagen

Kiel 2016

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karsten Witt, Klinik für Neurologie
2. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Psych. Alexander Prehn-Kristensen, Klinik für Kinder und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie

Tag der mündlichen Prüfung: 12.10.2017

Zum Druck genehmigt, 12.10.2017

Prolog

Entscheidungen in einer Welt mit komplexen Regeln unterliegen nach dem Nobelpreisträger Daniel Kahneman zwei unterscheidbaren kognitiven Prozessen: in einem schnellen, spontanen eher intuitiv gesteuerten Entscheidungsprozess reflektieren wir implizit Erlerntes rasch und – so Daniel Kahneman – entscheiden wir uns mithilfe dieses intuitiven Systems im Alltag meist korrekt. Ein langsamerer Denkprozess, in dem ein ausführliches Abwägen zwischen Handlungsalternativen erfolgt, trägt viele Merkmale des beschäftigten Denkens im Sinne einer expliziten Reflektion von Handlungsalternativen und deren Folgen. Wie aber bildet sich dieses erste, auf Intuition basierende Entscheidungs- bzw. Denkmodell. Wie handeln wir in komplexen Situationen, wenn explizite Regeln für eine Handlungsstrategie nicht vollständig verstanden sind?

Diese Arbeit soll einen kleinen Beitrag dazu leisten, wie der Schlaf diese intuitive Entscheidungsfindung beeinflusst und zeigen wie Informationen, die aus komplexen Systemen aufgenommen werden, durch den Schlaf verändert werden um sicherer intuitive Entscheidungen zu treffen. Diese Prozesse ermöglichen ein schnelles und erfolgreiches Abwägen von Handlungsalternativen.

INHALTSVERZEICHNIS

GLOSSAR.....	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VI
TABELLENVERZEICHNIS	VII
1 EINLEITUNG.....	- 1 -
1.1 Priming und Habitualionslernen.....	- 2 -
1.1.1 AGL und PST als Beispiele für Priming und Habitualionslernen	- 2 -
1.1.2 Neuronale Grundlagen von Priming und Habitualionslernen.....	- 3 -
1.2 Schlaf und seine Bedeutung für die Konsolidierung	- 4 -
1.2.1 Steigerung der Performance einer komplexen Gedächtnisleistung	- 4 -
1.2.2 Stabilisierung.....	- 6 -
1.2.3 Qualitative Änderungen eines Gedächtnispfades	- 7 -
1.3 Verschiedene Tasks und deren Einsatz in Studien.....	- 10 -
1.3.1 Artificial „Grammar“ Learning	- 10 -
1.3.2 Probabilistic Selection Task	- 11 -
1.4 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit.....	- 11 -
2 PROBANDEN, MATERIAL UND METHODEN.....	- 13 -
2.1 Probandenauswahl.....	- 13 -
2.2 Studiendesign.....	- 14 -
2.2.1 Studiendesign AGL	- 14 -
2.2.2 Studiendesign PST	- 15 -
2.3 Das Artificial „Grammar“ Learning (AGL).....	- 16 -
2.4 Der Probabilistic Selection Task.....	- 19 -
2.5 Polysomnographie	- 22 -
2.6. Fragebögen zu Wachheit und Schlafqualität.....	- 23 -
2.6.1. Stanford Sleepiness Scale (SSS)	- 23 -
2.6.2. Eigenschaftswörterliste	- 23 -
2.6.3. Pittsburgh Schlafqualitätsfragebogen.....	- 25 -
2.7 Statistische Analysen.....	- 25 -
3 ERGEBNISSE	- 28 -
3.1 Studie zum Probabilistic Selection Task	- 28 -
3.1.1 Probandenkollektiv.....	- 28 -
3.1.2 Lernen	- 28 -
3.1.3 Entscheidungsverhalten in verschiedenen Konfliktsituationen	- 29 -
3.1.4 Reaktionszeiten in verschiedenen Konfliktsituationen.....	- 32 -

3.1.5 Konsolidierung des erlernten Bevorzugungs- bzw. Vermeidungsverhalten („Choose A“ und „Avoid B“)	- 35 -
3.1.6 Reaktionszeiten des erlernten Bevorzugungs- bzw. Vermeidungsverhaltens	- 37 -
3.1.7 Schlaf und subjektive Skalen für die Gruppen des PST	- 38 -
3.1.7.1 Aktiviertheit der Probanden nach SSS und EWL	- 38 -
3.1.7.2 Vergleich des Schlafverhaltens anhand des PSQI	- 39 -
3.1.7.3 Vergleich der Schlafdaten des PST	- 40 -
3.2 Artificial „Grammar“ Learning	- 41 -
3.2.1 Probandenkollektiv	- 41 -
3.2.2 Lernen	- 42 -
3.2.3. Analyse des Klassifikationsverhaltens	- 43 -
3.2.4 Analyse der Probandenstrings	- 46 -
3.2.4.1 Anzahl richtig generierter Triplets	- 47 -
3.2.4.2 Analyse Probandenstrings bezüglich der ACS Werte	- 50 -
3.2.5 Schlaf und subjektive Skalen der Gruppen des AGL	- 51 -
3.2.5.1 Aktiviertheit der Probanden nach SSS und EWL	- 51 -
3.2.5.2 Vergleich des Schlafverhaltens anhand des PSQI	- 52 -
3.2.5.3 Vergleich der Schlafdaten	- 52 -
3.3 Vergleich der Schlafdaten zwischen PST und AGL Gruppen	- 53 -
4 DISKUSSION	- 54 -
4.1 Effekte des Schlafes auf die Performance beim PST	- 54 -
4.2 Bedeutung des Schlafes für implizit erworbene Kenntnisse	- 57 -
4.3 Die Rolle des Schlafes für die Entstehung expliziten Wissens	- 58 -
4.4 Die Rolle der Reexposition	- 59 -
4.5 Bedeutung einzelner Schlafstadien	- 60 -
4.6 Diskussion der Methodik	- 61 -
4.6.1 Konsolidierung über Tag	- 61 -
4.6.2 Tageszeitliche Einflüsse auf die Performance	- 61 -
4.6.3 Einfluss der Testinstruktion auf das Klassifikationsergebnis	- 62 -
4.7 Fazit und Ausblick	- 63 -
5 ZUSAMMENFASSUNG	- 64 -
6 LITERATURVERZEICHNIS	- 66 -
7 ANHANG	- 72 -
7.1. Einverständniserklärung der Probanden	- 72 -
7.2 Scores und Fragebögen	- 73 -
7.2.1 Stanford Sleepiness Scale (SSS)	- 73 -
7.2.2 Eigenschaftswörterliste (N)	- 73 -
7.2.3 Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI)	- 79 -
7.3 Testinstruktionen	- 83 -
7.3.1 Testinstruktionen Lernen PST	- 83 -
7.3.2 Instruktionen Testphase PST	- 83 -

7.3.3 Instruktion Lernen AGL.....	- 83 -
7.3.4 Instruktion Klassifikation AGL.....	- 83 -
7.3.5 Bögen mit der Generierungsaufgabe AGL.....	- 85 -
8 DANKSAGUNG	- 88 -
9 VERÖFFENTLICHUNG.....	- 89 -
10 LEBENS LAUF	- 90 -

Glossar

Im Folgenden werden Erklärungen und die verwendeten Abkürzungen aufgelistet; allgemein gültige Abkürzungen wie „z.B.“ werden nicht gesondert aufgeführt.

ACS	Associative Chunk Strength - Maß der Ähnlichkeit von Zeichenketten anhand eines Vergleiches ihrer Duos und Triplets untereinander
AGL.....	Artificial Grammar Learning – Paradigma zur Untersuchung des Erlernens einer künstlichen Grammatik
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis Of VAriance) – statistischer Test
Avoid-B.....	Strategie die richtige Entscheidung zu fällen, in dem man das schwache Symbol (hier B) immer vermeidet
Choose A.....	Strategie, die richtige Entscheidung zu fällen, in dem man das stärkste Symbol (hier A) bevorzugt
EEG.....	Elektroencephalogramm – Aufzeichnung des Verlaufs von Makrorhythmen als ableitbares Summenpotenzial zerebraler Potenzialschwankungen
EWL	Eigenschaftswörterliste – Test zur Erfassung von Motivation, Aktiviertheit, Disinhibition und Trägheit
Explizit	Verbal vermittelbarer bewusst gewordener Lernprozess
fMRT.....	Funktionelle Magnetresonanztomographie – bildgebendes Verfahren mit hoher räumlicher Auflösung zur Darstellung von aktivierten Strukturen im Gehirn
Grammar String.....	Zeichenkette, die nach der Rebergrammatik entwickelt wurde
High-ACS String.....	Hohe Ähnlichkeit einer Zeichenkette im Vergleich zu einer Referenzliste anhand der genutzten Duos und Triplets
HighConflict.....	Situation, in der eine Entscheidung aufgrund des geringen Unterschiedes zwischen den Symbolen schwer fällt
Implizit	Informationsgewinn, ohne dass dieser bewusst geworden ist, somit verbal nicht vermittelbar
LooseLoose	Hohe Konfliktsituation, da man sich zwischen zwei ähnlich schwachen Symbolen entscheiden muss
Low ACS String.....	Geringe Ähnlichkeit einer Zeichenkette im Vergleich zu einer Referenzliste anhand der genutzten Duos und Triplets

LowConflict	Situation, in der es, aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Symbolen, leicht fällt eine Entscheidung zu fällen
NonGrammar String..	Zufällig entwickelte und bewusst die Rebergrammatik verletzende Zeichenkette
NRT	Number Reduction Task – Task zur Untersuchung motorischer Fertigkeiten und der Konversion von implizitem in explizites Wissen
PSQI	Pittsburgh Schlafqualitätsfragebogen – Test zur Erfassung der Schlafqualität
PST	Probabilistic Selection Task – Paradigma zum Vorhersagen von Wahrscheinlichkeiten
REM-Schlaf.....	Rapid-Eye-Movement-Schlaf
SD.....	Standardabweichung – statistische Größe
SRTT	Serial Reaction Time Task – Aufgabe zur Testung motorischer Fertigkeiten
SSS	Stanford Sleepiness Scale – Test zur Erfassung der aktuellen Schläfrigkeit
Strings.....	7-10 Stellen lange Zeichenketten, zusammengestellt aus den Buchstaben D,F,G,H und J
SWS.....	Slow Wave Sleep – Tiefschlaf bestehend aus den Schlafstadien 3 und 4
WinWin Conflict.....	Hohe Konfliktsituation, da man sich zwischen zwei starken Symbolen entscheiden muss
WPT	Weather Prediction Task – Test zur Untersuchung des Kategorielernen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Taxonomie der Gedächtnissysteme nach Squire und Zola (1996).....	1 -
Abb. 2: Differenzierung des impliziten Lernens nach Witt et al (2002b; 2002a).....	2 -
Abb. 3: Steigerung der Performance im Weather Prediction Task	6 -
Abb. 4: Zwei Möglichkeiten eine motorische Fertigkeit zu konsolidieren.....	7 -
Abb. 5: Studiendesign der AGL Studie.....	15 -
Abb. 6: Studiendesign der PST Studie	16 -
Abb. 7: Rebergrammatik	18 -
Abb. 8. A: Symbolpaarungen der Lernphase; B: Abbruchkriterium des Lernprogramms ..	20 -
Abb. 9: Paarungen aus der Testphase.....	21 -
Abb. 10: Elektrodenpositionierung für die PSG nach Rechtschaffen und Kales (1968)	22 -
Abb. 11: Anteil korrekter Entscheidungen High- und „LowConflict“	29 -
Abb. 12: Konsolidierung „High“- und „LowConflict“	30 -
Abb. 13: Anteil korrekter „HighConflict“-Entscheidungen.....	31 -
Abb. 14: Konsolidierung „Loose-Loose“ und „Win-Win“	32 -
Abb. 15: Reaktionszeiten „High“- und „LowConflict“ Entscheidungen.....	32 -
Abb. 16: Reaktionszeiten für „Loose-Loose“ und „Win-Win“ Entscheidungen	33 -
Abb. 17: Korrekte Entscheidungen „Choose A“ und „Avoid B“	35 -
Abb. 18: Konsolidierung „Choose A“ und „Avoid B“	36 -
Abb. 19: Reaktionszeiten „Choose A“ und „Avoid B“	37 -
Abb. 20: Anteil korrekt klassifizierter Strings	43 -
Abb. 21: Klassifikation „Grammar“ Strings Zeitpunkt T2	45 -
Abb. 22: Klassifikation „NonGrammar“ Strings Zeitpunkt T2	46 -
Abb. 23: Anzahl generierter Triplets	47 -
Abb. 24: Veränderung generierter Triplets	48 -
Abb. 25: Neu verwendete Triplets	49 -
Abb. 26: Mittlere Werte der Associative Chunk Strength (ACS) bezogen auf die Länge...-	50 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung der Probanden	- 14 -
Tabelle 2: Items der Eigenschaftswörterliste	- 24 -
Tabelle 3: Mittleres Alter der beiden Gruppen des PST	- 28 -
Tabelle 4: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach SSS	- 38 -
Tabelle 5: Mittelwerte der Items der Eigenschaftswörterliste zum Zeitpunkt des Lernens..	- 39 -
Tabelle 6: Mittelwerte der Items der Eigenschaftswörterliste zum Zeitpunkt des Abrufs...	- 39 -
Tabelle 7: Mittelwerte des PSQI der PST Gruppen	- 40 -
Tabelle 8: Schlafdaten Experimentalnacht PST	- 41 -
Tabelle 9: Mittleres Alter der beiden Gruppen des AGL.....	- 42 -
Tabelle 10: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach SSS	- 51 -
Tabelle 11: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach der EWL – Abruf AGL	- 52 -
Tabelle 12: Mittelwerte des PSQI	- 52 -
Tabelle 13: Schlafparameter AGL	- 53 -

1 Einleitung

Ohne dass wir unseren Kindern Unterricht in ihrer Muttersprache geben, fangen sie auf einmal an zu sprechen. Aber wie läuft die Entwicklung von kurzen Ein- und Zweiwortsätzen zu grammatikalisch korrekter Sprache ab? Und ist der große Anteil des Schlafes am normalen Tagesablauf des Kindes daran beteiligt? Welche Rolle spielt Schlaf bei der Verarbeitung von Informationen, die durch positive oder negative Verstärkung erlernt wurden?

Damit eine Information dauerhaft für uns verfügbar ist, muss sie zunächst vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis transformiert werden. Das Langzeitgedächtnis besteht aus verschiedenen unterschiedlichen Gedächtnissystemen, die miteinander verknüpft sind (Squire und Zola 1996). Gelernte Fakten und Erlebnisse werden im deklarativen Gedächtnis verarbeitet und gespeichert und können dort bewusst abgerufen werden. Fertigkeiten wie Radfahren oder das Wissen über die Muttersprache gehören zum nicht-deklarativen Gedächtnis. Dieses enthält Informationen, die wir nicht bewusst lernen und auch nur schwer verbalisieren können. Dabei spielen klassische Konditionierung, das Priming und das Habituationlernen eine Rolle. Abb. 1: zeigt die Bereiche des Langzeitgedächtnisses.

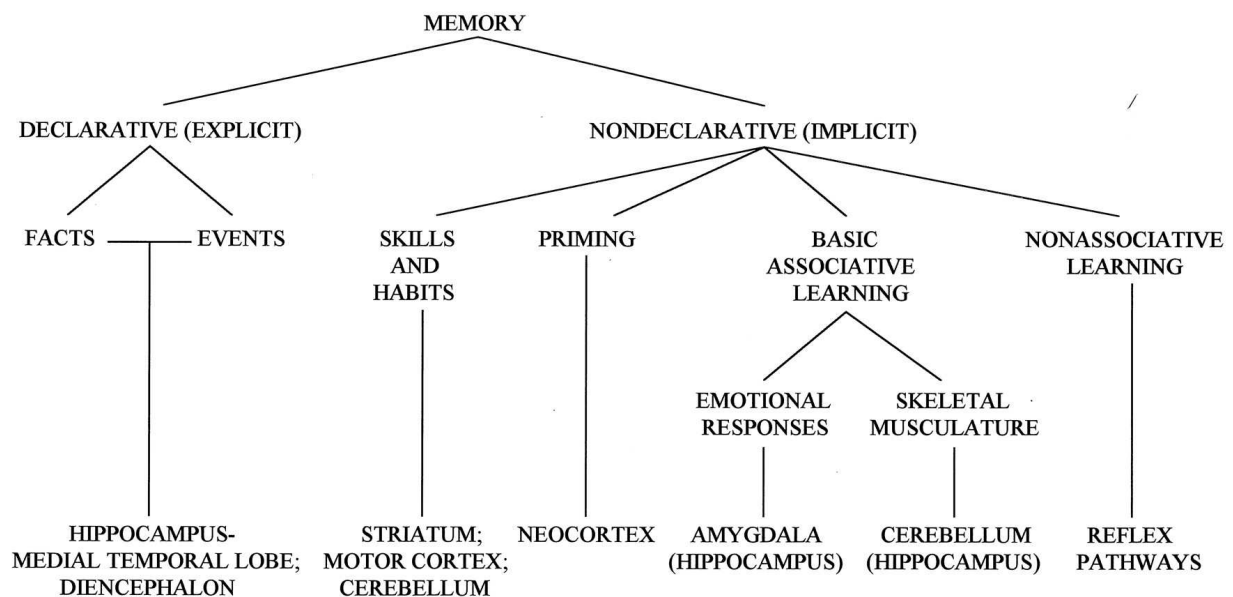


Abb. 1: Taxonomie der Gedächtnissysteme nach Squire und Zola (1996)

Die erste Ebene des Diagrammes zeigt die Unterteilung in deklaratives und nichtdeklaratives Gedächtnis, darunter folgen die entsprechenden Fertigkeiten und dazugehörigen Hirnareale

Zwischen dem Erlernen einer Information und dem Abruf finden Konsolidierungsprozesse statt, die für die einzelnen Gedächtnissysteme unterschiedlich sind. Da diese ohne erneutes Üben stattfinden bezeichnet man sie auch als offline-Konsolidierung (Maquet 2001; Pennartz, Uylings, Barnes et al. 2002; Stickgold, Hobson, Fosse et al. 2001).

1.1 Priming und Habituationlernen

Das nicht-deklarative Gedächtnis kann weiter unterteilt werden wie in Abb. 2: gezeigt (Witt, Nuhman und Deuschl 2002b). Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Artificial „Grammar“ Learning (AGL) als Beispiel für Priming und dem Probabilistic Selection Task (PST) als Beispiel für Habituationlernen (habit learning). Priming bedeutet, dass durch in der Vergangenheit erfolgte Exposition mit einem Reiz, dieser in der Zukunft schneller bzw. besser verarbeitet wird (Schacter, Chiu und Ochsner 1993; Zola-Morgan und Squire 1993). Beim Habituationlernen wird durch Erfahrungen, die man während des Trainings bzw. der Lernphase macht, gelernt. Beide werden dem nicht-deklarativen Gedächtnis zugeordnet (Squire und Zola 1996).

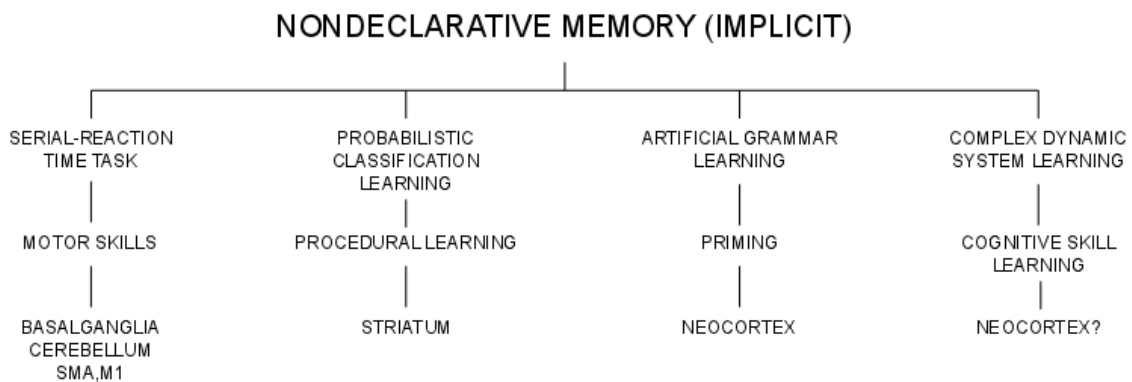


Abb. 2: Differenzierung des impliziten Lernens nach Witt et al (2002b; 2002a)

Das Diagramm zeigt die Lernaufgabe, die dadurch erlernte Fertigkeit sowie das zugeordnete Gehirnareal (SMA= supplementär motorische Area; M1 = primär motorisches Areal)

1.1.1 AGL und PST als Beispiele für Priming und Habituationlernen

AGL und probabilistisches Klassifikationslernen sind Beispiele für Priming und Habituationlernen. Beim AGL handelt es sich um ein Paradigma der kognitiven Psychologie mit dessen Hilfe der Prozess, der dem Erlernen der menschlichen Sprache zugrunde liegt, näher untersucht werden kann. Reber (1967) konnte anhand des AGL Paradigmas zeigen, dass Menschen nach einer kurzen Lernphase in der Lage sind Buchstabenfolgen, sogenannte Strings, in solche, die auf einer implizit gelernten artifiziellen Grammatik basieren (grammatikalisch) und solche, die diese Grammatik verletzen (nicht-grammatikalische), zu unterscheiden. Dieser Prozess wohnt auch dem Erlernen der natürlichen Sprache inne. Daher wurde das Modell des AGL als Muster vorgeschlagen mit dessen Hilfe Aspekte des Sprachenlernens untersucht werden können (Gomez und Gerken 2000; Petersson 2004). Zusätzlich gibt es durch fMRT Studien Evidenz dafür, dass Gehirnareale, die für Sprache wichtig sind auch beim AGL eine Rolle spielen wie beispielsweise das Broca Areal (Brodmans area, BA, 44/45) welches ein

Teil des linken unteren prefrontalen Kortex ist (Forkstam, Hagoort, Fernandez et al. 2006). Genauso gibt es aber auch Studien, die zeigen, dass Teile des okzipitalen Kortex bei AGL Leistungen aktiviert sind, dieser Befund ist vereinbar mit der Vermutung das AGL einem Primingmechanismus der visuellen Wahrnehmung entspricht (Seger, Prabhakaran, Poldrack et al. 2000). Es enthält sowohl Elemente des Priming als auch des Habituationlernens. Die Teststrings bestehen aus kleinen Abschnitten (Duos und Triplets), die sich während des Trainings immer wiederholen (Priming), so dass anschließend neue Strings schneller verarbeitet und als grammatikalisch erkannt werden können (Knowlton und Squire 1996). Die Versuchspersonen erfahren während der Lernphase des AGL aber auch (Habituation), dass es Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit bestimmter Sequenzen des Strings (Duos, Triplets) und dessen Kategorie (grammatikalisch/nicht-grammatikalisch) gibt (Knowlton und Squire 1996). Der PST ist ein Beispiel für das probabilistische Klassifikationslernen. Auch hier wird durch wiederholte Erfahrung, im Fall des PST durch positive oder negative Verstärkung, ein Verhalten erlernt. Es handelt sich also um Habituationlernens.

1.1.2 Neuronale Grundlagen von Priming und Habituationlernens

Für die unterschiedlichen Gedächtnissysteme sind verschiedene neuronale Strukturen verantwortlich (Squire und Zola 1996). Das deklarative Gedächtnis beruht auf der Funktion des Temporallappens, in dem der temporale Neokortex und der Hippocampus lokalisiert sind. Im Gegensatz dazu scheint die Funktion des non-deklarativen Gedächtnisses auf verschiedenen Gehirnarealen zu beruhen, abhängig davon um welche Form des impliziten nicht-deklarativen Gedächtnisses es sich handelt (Witt, Nuhsman und Deuschl 2002b). Habituationlernens, wie das probabilistische Klassifikationslernen, ist beeinträchtigt bei Patienten mit Chorea Huntington oder Parkinson, aber intakt bei Patienten mit Schäden am Kleinhirn (Knowlton, Mangels und Squire 1996; Knowlton und Squire 1996; Witt, Nuhsman und Deuschl 2002a). Dies deutet darauf hin, dass für diese Lernprozesse das Neostriatum mit Nucleus Caudatus und Putamen eine wichtige Funktion übernimmt. Im Gegensatz dazu sind sowohl Patienten mit Chorea Huntington und Parkinson als auch Patienten mit Kleinhirnschäden in der Lage AGL zu lernen (Knowlton, Mangels und Squire 1996; Knowlton, Squire, Butters et al. 1996; Witt, Nuhsman und Deuschl 2002b). Dies legt die Vermutung nahe, dass AGL dem Priming, welches auf dem Neocortex beruht näher steht als dem Habituationlernens (Squire und Zola 1996).

1.2 Schlaf und seine Bedeutung für die Konsolidierung

Um eine gelernte Information den verschiedenen Gedächtnissystemen zuordnen zu können, muss diese zunächst ins Langzeitgedächtnis überführt werden. Dazu wird die Information innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne (wenige Millisekunden bis mehrere Sekunden) aufgenommen und in eine sehr labile Repräsentation im Gehirn überführt, die anfällig für Veränderung und Verlust ist (Stickgold und Walker 2005). Um hieraus nun eine feste, gegenüber Störungen resistente Repräsentation zu formen, bedarf es der Konsolidierung (McGaugh 2000). Unter Konsolidierung versteht man unter anderem eine Leistungssteigerung oder die Stabilisierung eines Gedächtnispfades. Sie führt aber auch zur qualitativen sowie quantitativen Umstrukturierung von bereits vorhandenen Informationen und ermöglicht daher eine schnellere Problemlösung. Im Folgenden wird der Einfluss des Schlafes auf diese Prozesse erläutert.

1.2.1 Steigerung der Performance einer komplexen Gedächtnisleistung

Der Prozess des Lernens endet nicht mit der Lernphase, sondern beginnt mit ihr. Den Teil nach der Lernphase, also das Lernen ohne aktive Übungen, bezeichnet man als offline-Konsolidierung. Dies gilt sowohl für das Erlernen einer motorischen Fertigkeit als auch für Inhalte des deklarativen Gedächtnisses. Die meisten Hinweise auf die Bedeutung von Schlaf für die Verbesserung einer Gedächtnisleistung des nicht-deklarativen Gedächtnisses stammen aus Studien mit einfachen motorischen Tests wie dem sequenziellen Finger-Tapping-Task (Walker, Brakefield, Morgan et al. 2002) oder dem Visual Discrimination Learning (Stickgold, James und Hobson 2000). Um den Einfluss von Schlaf auch auf komplexere Gedächtnisinhalte zu untersuchen, nutzten Djonglagic et al. (2009) den Weather Prediction Task (WPT). Dies ist ein Test, mit dem das Probabilistic Category Learning näher untersucht werden kann. Den Entscheidungen, die man während des Alltags trifft, liegt die Fähigkeit zugrunde Ereignisse und Objekte anhand erlernter Merkmale in Kategorien zu unterteilen. Diese Art des Lernens wird als Category Learning bezeichnet.

Der WPT (siehe Abb. 3a) besteht aus vier Karten mit geometrischen Figuren, die als Stimulus fungieren. Diese Karten werden den Probanden einzeln, zu zweit oder zu dritt in variablen Kombinationen gezeigt und genutzt um zwei mögliche Wetterszenarien vorherzusagen: Sonnenschein oder Regen. Jeder der Karten ist eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit zugeordnet mit der sie Sonne oder Regen vorhersagt. Um also auf das Endergebnis, nämlich das Wetter, zu kommen, muss jeder Stimulus einzeln und in Kombination mit den anderen in die Kategorien Sonnenschein oder Regen eingeteilt werden. Djonglagic et al. (2009) untersuchten nicht nur, ob Schlaf zu einer gesteigerten Testperformance führt, sondern zusätzlich ob dieser

Effekt abhängig ist von der Art, wie der WPT gelernt wird. Ein Teil der Studienteilnehmer beobachtete nur, welche Kombination zu welchem Wetterszenarium führte, während ein anderer Teil selbst Entscheidungen fällen musste und dazu ein positives oder negatives Feedback bekam. Das Training bestand aus 200 Durchläufen, die jeweils 14 mögliche Kombinationen der vier Karten enthielten. In einer anschließenden Testphase mussten die Probanden in 100 weiteren Trials das Wetter selbst vorhersagen ohne dazu ein Feedback zu bekommen. Dieser Test wurde je nachdem zu welcher Gruppe die Probanden gehörten nach 12 Stunden inklusive einer Nacht mit Schlaf oder nach einem normalen Tag wiederholt und die Verbesserung der Leistung miteinander verglichen. Die Wach- und die Schlafgruppe der Beobachtungsbedingung unterschieden sich signifikant in der Performance beim zweiten Test wohingegen es in der Feedbackgruppe keinen signifikanten Unterschied gab (siehe Abb. 3b). Dies wurde darauf zurückgeführt, dass die Teilnehmer der Feedbackbedingung schon beim ersten Test mit knapp 90% sehr stark abschnitten und somit kaum noch eine Steigerung der Leistung möglich war. Daraufhin wurde der Lernteil der Feedbackbedingung auf 100 Trials reduziert und erneut eine Schlaf- und eine Wachgruppe getestet. Nun war der signifikante Unterschied zwischen Schlaf- und Wachgruppe auch für die Feedbackbedingung zu beobachten (siehe ebenfalls Abb. 3b). Dieser Effekt wurde auf das deutlich schlechtere Testergebnis unmittelbar nach dem Lernen zurückgeführt, da verschiedene Studien Hinweise darauf geben, dass der Zugang zur schlafabhängigen Konsolidierung unter anderem davon abhängt wie hoch der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe ist. Kuriyama et al. (2004) zeigten, dass die Größe der Performancesteigerung über Nacht in einem motorischen Task abhängig davon ist, wie schwer die motorische Aufgabe ist. Eine weitere Frage ist die, inwiefern die Art und Weise wie eine Information erlernt wurde, explizit oder implizit, die Bedeutung der schlafabhängigen Konsolidierung beeinflusst. Mithilfe des Serial-Reaction Time Task (SRTT), der sowohl implizit als auch explizit gelernt werden kann, konnten Robertson et al. (2004) zeigen, dass Schlaf die Konsolidierung explizit gelernter Informationen bevorzugt fördert. Die Frage, inwieweit komplexere Lerninhalte wie beispielsweise das AGL und der PST Zugang zu schlafabhängigen Konsolidierungsprozessen haben, ist Gegenstand dieser Arbeit.

Abb. 3a

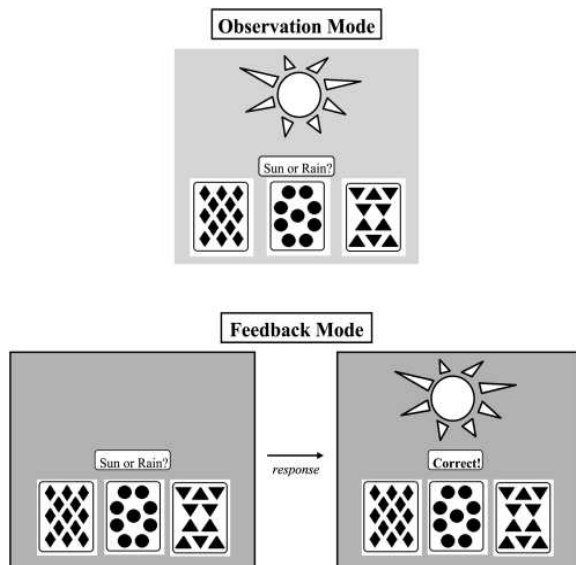


Abb. 3b

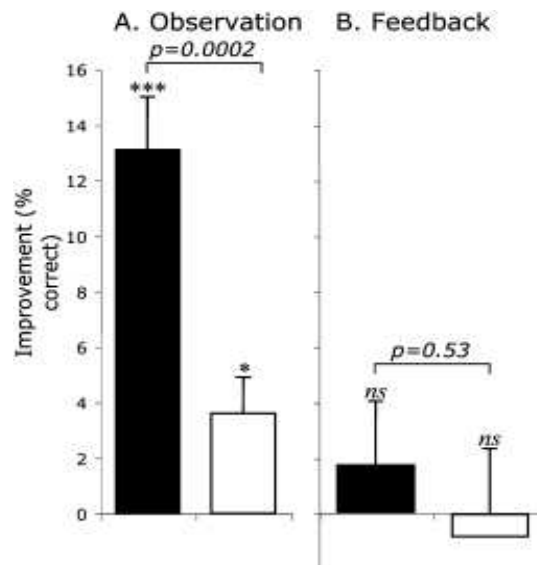


Abb. 3: Steigerung der Performance im Weather Prediction Task

Abb. 3a zeigt die beiden unterschiedlichen Lernbedingungen des Weather Prediction Task. Oben ist der Beobachtungsmodus zu erkennen, bei dem der Proband gezeigt bekommt, welches Wetter die Kartenkombination vorher sagt. Unten ist der Feedbackmodus zu sehen, in dem der Proband aufgrund der Kartenkombination entscheidet ob es Sonne oder Regen gibt und anschließend ein Feedback bekommt. (Djonlagic, Rosenfeld, Shohamy et al. 2009). Abb. 3b zeigt die unterschiedliche Steigerung der Performance während des Testes für die jeweilige Lernbedingung und die Schlaf- bzw. Wachgruppe.

1.2.2 Stabilisierung

Die meisten Erkenntnisse zur Stabilisierung eines Gedächtnispfades stammen aus Studien, die sich mit dem motorischen Lernen befassen und sollen im Folgenden kurz zusammengefasst werden. Unmittelbar nach dem Erlernen einer motorischen Fähigkeit ist diese sensibel gegenüber Störungen. So kann zum Beispiel das Erlernen einer zweiten motorischen Fähigkeit direkt im Anschluss an die erste den Prozess der Konsolidierung unterbrechen (Brashers-Krug, Shadmehr und Bizzi 1996). Durch Interferenz zwischen diesen beiden Lerninhalten wird dem ersten der Zugang zu den schlafabhängigen Konsolidierungsprozessen verweigert (Walker, Brakefield, Hobson et al. 2003). Um aus einer fragilen Repräsentation eine stabile zu machen, müssen erst einige Minuten wenn nicht gar Stunden vergehen. Zeit alleine bietet allerdings keinen Schutz vor Interferenz, denn eine zuvor konsolidierte Information wird wieder fragil sobald sie reaktiviert wird und muss rekonsolidiert werden (Walker, Brakefield, Hobson et al. 2003). Zeit, unabhängig davon ob sie schlafend oder wach verbracht wird, führt zu einer Stabilisierung einer gelernten Fähigkeit (Walker, Brakefield, Hobson et al. 2003). Korman et al. (2007) konnten zeigen, dass Schlaf diesen Prozess beschleunigt (siehe Abb. 4). In der ersten Zeile der Abb. 4 ist zu erkennen, dass die Steigerung einer Performance in einem motorischen Finger-Tapping-Task schlafabhängig erfolgt. Die zweite Zeile zeigt den Verlust der schlafab-

hängigen Performancesteigerung der ersten Sequenz, wenn zwei Stunden nach dem initialen Training eine zweite Sequenz gelernt wird. Folgt unmittelbar nach dem Training der ersten Sequenz ein kurzer Schlaf von 90 Minuten, so ist die gelernte Sequenz stabil gegenüber Störung durch die zweite Sequenz und zeigt nach 24 Stunden die gleiche Leistungssteigerung wie ohne Interferenz (Zeile 3 der Abb. 4). In dieser Abbildung nicht berücksichtigt ist eine vierte Bedingung, in der die Teilnehmer die zweite Sequenz erst 8 Stunden nach der ersten Sequenz lernten. Auch hier zeigte sich dieselbe Performancesteigerung, wie nach 24 Stunden ohne Lernen einer zweiten Sequenz. Korman et al. (2007) konnten also zeigen, dass eine Fertigkeit zwar zwei Stunden nach der Lernphase anfällig gegenüber Interferenz ist, sofern diese wach verbracht wurden, aber dass acht Stunden Wachsein ausreichen um die erste Sequenz gegenüber einer zweiten zu stabilisieren. Es benötigt also nicht zwingend Schlaf für die Stabilisierung einer Information, sie benötigt aber mit Schlaf deutlich weniger Zeit.

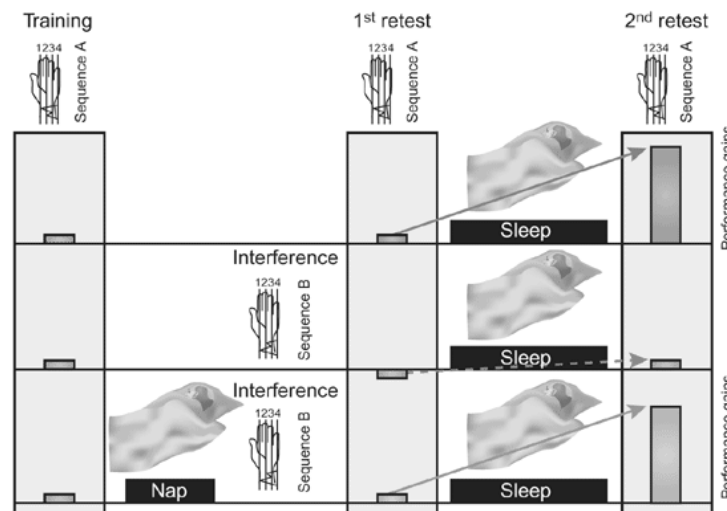


Abb. 4: Zwei Möglichkeiten eine motorische Fertigkeit zu konsolidieren.

Oben: verbesserte Performance beim Finger-Tapping-Task nach dem Schlaf. Mitte: Interferenz zwischen zwei Sequenzen – Sequenz A und B. Die zuerst gelernte Sequenz A kann in der folgenden Nacht nicht konsolidiert werden. Unten: Ein kurzer Schlaf (Nap) hebt die Interferenz auf; Stabilisierung eines zuvor fragilen Gedächtnispfades. Dieser kann in einem zweiten Schritt im Nachtschlaf auch hinsichtlich der Performance verbessert werden (Korman, Doyon, Doljansky et al. 2007)

1.2.3 Qualitative Änderungen eines Gedächtnispfades

Der Abruf von Informationen im Hippocampus-abhängigen deklarativen Gedächtnis wird über die Zeit schrittweise, wenn auch nicht vollständig, von hippocampalen Netzwerken unabhängig um anschließend überwiegend auf neocorticalen Pfaden zu beruhen (Frankland und Bontempi 2005). Jüngste fMRT-Studien konnten zeigen, dass dieser Wechsel durch Schlaf begünstigt wird (Takashima, Petersson, Rutters et al. 2006; Gais, Albouy, Boly et al. 2007). Parallel zu diesen qualitativen Veränderungen auf der neuronalen Ebene, führt Schlaf aber

auch zu Veränderungen auf der Verhaltensebene. Schlaf fördert die Konversion von einer impliziten zu einer expliziten und bewussten Form von Wissen (Born und Wilhelm 2012). Wagner et al. (2004) untersuchten diese Fähigkeit des Schlafes mit Hilfe des Number Reduction Task, bei dem in jedem Durchgang (Trial) eine Ziffernsequenz in eine neue Sequenz transformiert werden muss. Diese Transformation folgt zwei festgelegten Regeln, die den Teilnehmern genannt werden. Ziel ist es die letzte Ziffer, als sogenannte finale Lösung, zu ermitteln (Haider und Rose 2007; Woltz 1996). Eine dritte, für die Teilnehmer unbekannte Regel, legt fest, dass die letzte Ziffer gleichbedeutend mit der zweiten Ziffer ist, sodass Teilnehmer die explizite Kenntnisse dieser dritten Regel erlangen sehr schnell die finale Lösung finden. Daher eignet sich dieser Test sehr gut um den Wechsel von impliziten Kenntnissen, diese äußern sich in einer schnelleren Reaktionszeit, zu expliziten Kenntnissen zu untersuchen. In ihrer Studie ließen Wagner et al. (2004) die Teilnehmer zunächst an 90 Ziffernsequenzen trainieren was nicht ausreichte um Einblick in die Regel zu bekommen. Nach einem achtstündigen Intervall aus Schlaf oder Wachsein wurden die Teilnehmer wieder mit dieser Methodik getestet, diesmal an dreihundert Ziffernsequenzen. Bei diesem Test erlangten doppelt so viele Personen der Schlafgruppe Einblick in die versteckte Regel wie in der Wachgruppe. Um ausschließen zu können, dass Schlaf allein bereits zu einer Einsicht in die Regel führt, testeten sie am Morgen zusätzlich eine weitere Gruppe ohne abendliches Training. Diese Gruppe unterschied sich deutlich von der Gruppe mit abendlichem Training. So konnten sie zeigen, dass es eines dem Schlaf vorausgehenden Trainings bedarf um eine Repräsentation im Gehirn zu entwickeln, die dann im Schlaf verarbeitet und eventuell zu explizitem Wissen wird.

Yordanova et al. (2008) konnten zeigen, dass Personen, die vor der Schlafphase implizites Wissen erlangt hatten, häufiger explizites Wissen entwickelten. Diese erhöhte Konversionsrate (implizit zu explizit) zeigte eine Abhängigkeit zur Tiefschlafphase (Slow-Wave-Sleep (SWS)). Ein hoher REM-Schlaf Anteil führte hingegen signifikant seltener zur Entwicklung von expliziten Kenntnissen. Eine genauere Analyse konnte die Bedeutung der langsamen Spindelaktivität während des SWS für die Transformation von impliziten Kenntnissen vor dem Schlaf zu expliziten Kenntnissen nach dem Schlaf zeigen (Yordanova, Kolev, Wagner et al. 2012). Die Rolle des Schlafes bei der Konversion von implizit erlerntem Wissen zu explizitem Erkennen von Regeln oder versteckten Mustern konnte noch mithilfe weiterer Tests untersucht werden, hierzu gehören der „Relational Memory Task“ (Ellenbogen, Hu, Payne et al. 2007) und der Serial-Reaction-Time Task (SRTT) (Fischer, Drosopoulos, Tsen et al. 2006). In Letzterem wird den Versuchsteilnehmern ein Sternchen auf einem Bildschirm prä-

sentiert. Dieses Sternchen taucht an unterschiedlichen Positionen in einer horizontal angeordneten Reihe aus Rechtecken auf. Die Aufgabe des Probanden ist es, so schnell wie möglich eine zu der Sternchenposition korrespondierende Taste zu drücken. Dabei wissen die Teilnehmer nicht, dass das Sternchen immer in einer festgelegten, komplexen sich aber wiederholenden Reihenfolge in den Kästchen erscheint. Als Zeichen dafür, dass die Teilnehmer implizites Wissen über diese zugrundeliegende Sequenz erlangt haben, verkürzt sich die Reaktionszeit für die festgelegte Sequenz im Vergleich zu einer zufälligen Sequenz. Fischer et al. (2006) kombinierten diesen klassischen SRTT mit einem sogenannten Generierungstask (vergleichbar mit der in der vorliegenden Studie genutzten Generierungsaufgabe), in dem die Teilnehmer explizit dazu aufgefordert wurden, die Sequenz der Sternchenpositionen, die sie implizit gelernt hatten, ganz bewusst zu generieren. Die Probanden absolvierten den Generierungstask unmittelbar nach dem Training. Hierdurch wurde ermittelt, ob am Morgen sichtbare explizite Kenntnisse nicht schon nach dem ersten Training vorhanden waren. Im Anschluss an eine neunstündige Phase ohne Training, in der die Personen entweder schliefen oder wach waren, absolvierten sie diesen Generierungstask erneut. Personen, die geschlafen hatten waren deutlich besser in der Lage die dem SRTT zugrundeliegende Sequenz bewusst zu generieren, als Personen die in den neun Stunden wach waren. Die Schlafdeprivierten Probanden zeigten keinen Lernzuwachs nach den neun Stunden. Ob die Personen über die Existenz einer versteckten Regel informiert wurden oder nicht spielt keine Rolle bei der Entwicklung von expliziten Erkenntnissen durch sich anschließenden Schlaf. Allerdings ist es bei Personen, die informiert waren möglich, dass sich dieses explizite Wissen auch ohne Schlaf entwickelt (Drosopoulos, Harrer und Born 2011). Vorausgehende Untersuchungen zeigen, dass der Gewinn expliziter Kenntnisse aus implizit gelernten Strukturen bei Kindern deutlich größer ist als bei Erwachsenen, was auf den erheblich größeren Anteil an SWS bei Kindern zurückzuführen ist (Wilhelm, Rose, Imhof et al. 2013).

Die implizit – explizit Konversion ist ein eindrucksvolles Beispiel für die schlaf-induzierte Reorganisation von Gedächtnisrepräsentationen; schließlich wird hier ein qualitatives Verhaltensmerkmal – das explizite Bewusstsein für eine Regel bzw. Lösung eines Problems – in einem „off-line“ Konsolidierungsprozess gebildet. Es ist nicht ausgeschlossen, dass diese Umstrukturierung auch in Abwesenheit einer solchen implizit zu explizit Umwandlung stattfindet. Diese qualitativen Änderungen der Repräsentation finden also auch für Informationen statt, die explizit gelernt wurden und explizit bleiben beziehungsweise implizit gelernte Informationen, die implizit bleiben (Born und Wilhelm 2012). So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Schlaf den Transfer einer gelernten Sequenz im Finger-Tapping-Task von der

im Training benutzen Hand auf die kontralaterale Hand begünstigt (Cohen, Pascual-Leone, Press et al. 2005; Witt, Margraf, Bieber et al. 2010). Solche Ergebnisse suggerieren, dass auch implizite Repräsentationen von schlaf-abhängiger Umstrukturierung betroffen sind. Ob auch komplexere Gedächtnisinhalte wie beispielsweise das AGL von diesen Veränderungen profitieren, so dass auch hier aus impliziten Informationen explizite Erkenntnisse erwachsen oder sich das Verhalten von Teilnehmern, die den PST lernten durch Schlaf verändert, ist Teil dieser Arbeit.

1.3 Verschiedene Tasks und deren Einsatz in Studien

Die meisten Erkenntnisse über die Bedeutung von Schlaf für die Konsolidierung stammt aus Studien mit motorischen Tasks wie dem SRTT oder dem sequenziellen Finger-Tapping-Task oder Tests die sich mit dem deklarativen Lernen befassen. In dieser Arbeit soll die Bedeutung der schlafabhängigen Konsolidierung auf komplexere Lerninhalte untersucht werden. Dazu wurden das AGL und der PST genutzt, die nun näher beschrieben werden.

1.3.1 Artificial „Grammar“ Learning

Ein typisches AGL Experiment besteht aus einer Lernphase gefolgt von einer Klassifikationsphase. Während der Lernphase wird den Probanden erklärt sie seien Teil einer Kurzzeitgedächtnis Studie und sie sollen die nun gezeigten Buchstabenfolgen (im Folgenden Strings genannt) lernen um sie im Anschluss wiederzuerkennen. Die Probanden wissen also nicht, dass diese Strings nach festgelegten Regeln entstanden sind. Im Anschluss an diese Lernphase folgt die Klassifikationsphase, in der die Probanden zwar darüber informiert werden, dass es eine Regel für die Strings gibt, nicht aber welcher Art diese Regel ist. Sie sollen nun die gezeigten Strings in grammatikalisch und nicht-grammatikalisch unterscheiden und sich hierbei auf ihre erste intuitive Eingebung verlassen. Typischerweise ist die Performance der Probanden in diesem Klassifikationsteil besser als der Zufall (die Probanden haben eine fünfzig-fünfzig Chance die richtige Entscheidung zu treffen). Einer der ersten der dies zeigen konnte war Reber (1967). Um zwischen Wissensgewinn der tatsächlich auf Kenntnissen über die zugrundeliegende Regel basiert und einfachem Wiedererkennen von Teilen der gelernten Strings zu unterscheiden entwickelte sich der Associative Chunk Strength (ACS). Dieser gilt als Messgröße für die Ähnlichkeit zwischen den Strings der Klassifikationsphase und denen der Lernphase (Knowlton und Squire 1996).

AGL Experimente wurden bislang in vielen Studien genutzt um zum Beispiel zu untersuchen welche Hirnregionen für das nicht-deklarative Gedächtnis eine Rolle spielen (Knowlton,

Squire, Butters et al. 1996; Witt, Nuhman und Deuschl 2002b; Witt, Nuhman und Deuschl 2002a). Für Studien über Schlaf wurde AGL bislang noch nicht verwendet, allerdings fällt in einer Studie von Forkstam et al. (2008) auf, dass die größte Verbesserung in der Klassifikationsperformance vom ersten auf den zweiten Tag erfolgt, also nach einer Nacht mit Schlaf. Das legt den Schluss nahe, dass auch bei solcherlei komplexen Lerninhalten der Schlaf eine tragende Rolle bei der Konsolidierung spielt.

1.3.2 Probabilistic Selection Task

Der von Frank et al (2004) entwickelte PST eignet sich sehr gut dazu, das Lernen durch positive bzw. negative Verstärkung zu untersuchen. Beim PST werden drei verschiedene Stimuluspaare (AB, CD, EF) in zufälliger Reihenfolge präsentiert und die Testperson soll sich jeweils für einen von beiden entscheiden. Der Wahl folgt sogleich ein Feedback in Form der Worte „Richtig“ oder „Falsch“, diese Rückkopplung folgt einer probabilistischen Ordnung. Bei der Paarung AB führt die Wahl von A in 80 Prozent der Fälle zu positiver Rückmeldung, wohingegen die Wahl von B zu 80 Prozent zu negativer Rückmeldung führt (und umgekehrt in den verbleibenden 20 Prozent der Fälle). CD und EF sind nicht so zuverlässig: C ist in 70 Prozent der Fälle korrekt wohingegen E nur in 60 Prozent der Fälle zu einem positiven Feedback führt. Während einer Trainingsphase lernen die Versuchspersonen A, C und E öfter zu wählen als die drei anderen Stimuli. Hierbei wird das Wissen, dass A besser ist als B entweder dadurch gelernt, dass A häufiger zu einem positiven Feedback führt oder dadurch, dass B zu negativem Feedback führt (oder beides). Im Anschluss werden die Probanden in einer Testphase mit allen möglichen Kombinationen der Stimuli konfrontiert und müssen sich wieder für jeweils einen entscheiden. Dabei erhalten die Probanden kein Feedback für ihre Wahl. In den Untersuchungen über die schlafabhängige Konsolidierung spielte der PST bislang keine große Rolle. Er ähnelt allerdings dem Weather Prediction Task und einem Task, der das menschliche Lernen von Relationen untersucht. Für beide Tasks konnte in Studien gezeigt werden, dass Schlaf eine Rolle bei der Konsolidierung spielt (Djonlagic, Rosenfeld, Shohamy et al. 2009; Ellenbogen, Hu, Payne et al. 2007).

1.4 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Unumstritten ist, dass Schlaf zur Konsolidierung sowohl nicht-deklarativer als auch deklarativer Gedächtnisinhalte in Form von Stabilisierung und Steigerung beiträgt. Über die Konsolidierung komplexerer Informationen, wie zum Beispiel AGL und PST, gibt es hingegen bislang noch kaum Erkenntnisse. Aus einer Studie von Forkstam et al. (2008), in der Probanden

über mehrere Tage an einem AGL Experiment teilnahmen, war der größte Lernzuwachs nach 24 Stunden zu sehen. Es fehlt natürlich eine Kontrolle, da es in dieser Studie nicht um die Rolle des Schlafes ging, aber die Vermutung, dass Schlaf auch beim AGL zu besseren Ergebnissen führen kann liegt nahe. Des Weiteren gibt es mittlerweile eine Reihe von Studien, die am Beispiel des Number Reduction Task (NRT), den Wechsel von implizitem zu explizitem Wissen durch Schlaf belegen und sogar einen Zusammenhang zum Slow Wave Sleep (SWS) herstellen konnten (Wagner, Gais, Haider et al. 2004; Yordanova, Kolev, Verleger et al. 2008; Yordanova, Kolev, Wagner et al. 2012). Djonlagic et al. zeigten, dass eine Performancesteigerung im probabilistischen Klassifikationslernen (Weather Prediction Task) nur schlafabhängig erfolgt.

In der vorliegenden Studie wird mithilfe des AGL Paradigmas und dem PST aufgrund der bisherigen Erkenntnisse aus den oben benannten Studien die Rolle des Schlafes für die Konsolidierung komplexer Informationen beleuchtet:

- Ist der Wechsel von impliziten zu expliziten Kenntnissen durch Schlaf auch für das AGL nachweisbar?
- Wird eher Grammatik an sich (also die Regel hinter der Grammatik) oder Ähnlichkeit (also die Vergleichbarkeit der „Oberflächenstruktur“ von Strings) konsolidiert?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Konsolidierung komplexer Informationen und einem bestimmte Schlafstadium?
- Wird das rein implizit gelernte Wissen des PST besser schlafabhängig konsolidiert?
- Kommt es auch dort zu einem Wechsel in der Strategie, um die richtige Lösung zu finden?

2 Probanden, Material und Methoden

2.1 Probandenauswahl

An den vorliegenden Studien nahmen insgesamt 65 Probanden (34 Frauen und 31 Männer) im Alter von 18-28 Jahren teil (mittleres Alter 25), die über Aushänge an den schwarzen Brettern der Christian-Albrecht-Universität Kiel sowie dem Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel gesucht wurden. Es konnten 9 Probanden für die Teilnahme an beiden Studienteilen gewonnen werden, so dass sich bei 65 Probanden insgesamt 74 Einzeltestungen ergaben. Das Einschlusskriterium des Alters (> 18 und < 28 Jahre) wurde gewählt, um mögliche Effekte des Alters auf die Konsolidierung und die Testleistung zu verringern.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Personen, die eines (oder mehrere) der folgenden Kriterien erfüllen:

- Personen, die regelmäßig zentralnervös wirkende Medikamente einnehmen
- Personen mit Substanzabhängigkeit, aktuell oder in der Vorgeschichte
- Personen mit neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen, aktuell oder in der Vorgeschichte
- Personen mit chronischen Schlafstörungen
- Personen mit chinesischen Sprachkenntnissen in Wort und Schrift (da diese im PST genutzt werden)

Nach einer mündlichen und schriftlichen Aufklärung über Ablauf und Inhalt der Studie unterschrieben alle Probanden eine Einverständniserklärung (siehe Anhang 7.1.). Die Probanden der Wachgruppen erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 20,00 Euro, Probanden der Schlafgruppen, denen zusätzlich noch ein Polysomnographie-Gerät zur Aufzeichnung des Schlafes angelegt wurde, bekamen insgesamt 40,00 Euro. Ein Rücktritt von der Studie war zu jeder Zeit möglich.

Vor Beginn der Studie lag eine Genehmigung der Ethik-Kommission der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel vor (AZ B 228/09 und B218/12).

Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig auf insgesamt 4 Gruppen verteilt und zwar für jede Testreihe eine Wach- und eine Schlafgruppe. Die Gruppen der AGL Studie bestanden jeweils aus 20 Probanden (je 10 Männer und Frauen) und die Gruppen der Probabilistic Studie aus

jeweils 17 Probanden (9 Frauen und 8 Männer). Es wurde darauf geachtet, dass jede Gruppe einen ausgeglichenen Anteil männlicher und weiblicher Versuchsteilnehmer hatte. Diese ausgeglichene Geschlechterverteilung wurde gewählt um eventuell vorhandene geschlechtsspezifische Einflüsse auf die Ergebnisse zu vermeiden. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Probanden auf die Gruppen in Hinblick auf Geschlecht und mittleres Alter.

Tabelle 1: Verteilung der Probanden

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Probandenzahl	n=20	n=20	n=17	n=17
Männer	10	10	8	8
Frauen	10	10	9	9
mittleres Alter (Jahre)	24,75	23,45	23,94	24,59

2.2 Studiendesign

Nach zufälliger Zuordnung zu einer Gruppe erfolgte die Testung der Probanden. Für die Studie wurde ein Laptop mit externer Tastatur verwendet. Die Testungen fanden für alle Probanden unter gleichen Bedingungen, in einem ruhigen Raum ohne Störungen von außen, statt. Das Design der AGL Studie und der PST Studie werden im Folgenden getrennt voneinander erläutert.

2.2.1 Studiendesign AGL

Eine Übersicht über das im Folgenden beschriebene Studiendesign gibt Abb. 5. Alle Probanden absolvierten zunächst eine Proberunde (Baseline), in der sie 20 Strings danach bewerten sollten, ob sie einer Regelmäßigkeit folgen oder willkürlich entstanden sind. Die Entscheidung sollte möglichst intuitiv ohne langes Überlegen getroffen und mittels Mausklick auf das entsprechende Feld („Ja“ oder „Nein“) eingegeben werden (Instruktion siehe Anhang 7.3.3). Darauf folgte die Lernaufgabe. Hierbei wurden den Probanden nacheinander achtzig, nach der Rebergrammatik (s.u.) entstandene, Strings gezeigt. Jeder String wurde für 5 Sekunden präsentiert und sollte anschließend aus dem Gedächtnis nachgetippt werden (Testinstruktion siehe Anhang 7.3.4). Hierzu wurde auf eine vollständige Tastatur zurückgegriffen. Kam es zu fehlerhaften Eingaben, so wurde derselbe String noch einmal gezeigt. War die zweite Eingabe erneut fehlerhaft, ging die Lernaufgabe mit dem nächsten String weiter. Bei maximaler Fehlerzahl waren also 160 Eingaben möglich. Je nach Fehlerzahl dauerte die Lernaufgabe 15 bis 30 Minuten. Im Anschluss an die Lernaufgabe, sollten die Probanden in einer Klassifikations-

aufgabe weitere achtzig Strings in grammatikalisch oder nicht-grammatikalisch klassifizieren. Diese dauerte 10 bis 15 Minuten. Darauf folgte ein Test auf explizit erlangtes Wissen, in dem die Probanden aufgefordert waren 40 Strings selbst zu generieren und auf dafür vorbereitete Zettel zu notieren (siehe Anhang 7.3.5). Davon sollten jeweils zwanzig Strings grammatikalisch und die anderen zwanzig bewusst nicht-grammatikalisch sein. Nach zwölfstündiger Konsolidierungsphase folgte mit einer erneuten Klassifikationsaufgabe und anschließender String Erstellung der Abruf des zuvor gelernten Wissens. Dies erfolgte um direkte Einflüsse der Schlaf- bzw. Wachphase auf die Performance der Probanden erkennen zu können. Um untersuchen zu können, ob unterschiedliche Konsolidierungsphasen Einfluss auf die Performance nach erneutem Lernen haben, erfolgte anschließend ein weiterer Block mit Lernaufgabe, Klassifikation und der Generierung von Strings. Dieses Design erlaubt Veränderungen nach einer Phase des Wachseins und nach dem Schlaf zu detektieren; darüber hinaus wird der Einfluss der Reexposition mit dem Lernmaterial untersucht (2. Lernphase).

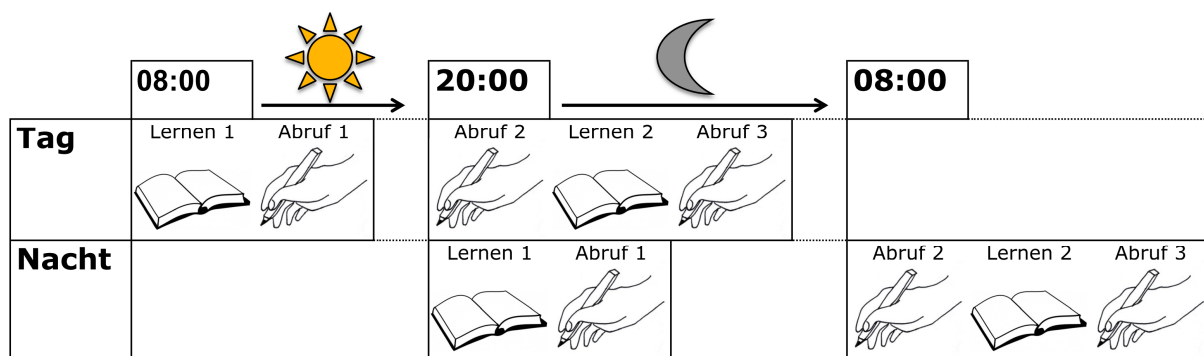


Abb. 5: Studiendesign der AGL Studie

2.2.2 Studiendesign PST

Im Folgenden soll nun die Versuchsanordnung der Probabilistic Testungen erläutert werden (siehe Abb. 6). Auch hier absolvierten die Probanden eine Lernaufgabe in der sie aus drei verschiedenen Symbolpaaren, intuitiv das ihrer Meinung nach richtige Symbol wählen sollten. Die Reihenfolge und Verteilung der Symbolpaare folgte dem Zufall. Zu jeder Entscheidung erhielten sie ein visuelles Feedback, je nachdem ob ihre Entscheidung richtig oder falsch war. Sechzig Entscheidungen waren zu treffen, bevor das Programm das Ergebnis des Probanden bewertet und entscheidet, ob die Lernaufgabe beendet oder ein erneuter Durchlauf zu absolvieren ist. Abhängig von der Anzahl der Durchläufe dauerte dieser Teil zwischen fünf und zwanzig Minuten. In einer Testphase wurden die Probanden aufgefordert hundertfünfzig weitere Entscheidungen zu treffen, erhielten aber keine Rückmeldung, ob die getroffene Ent-

scheidung richtig oder falsch ist. Zusätzlich zu den drei Paarungen aus der Lernphase enthielt der Test auch alle weiteren möglichen Paarungen der sechs Buchstaben in zufälliger Reihenfolge und Verteilung. Nach einer zwölfstündigen Konsolidierungsphase absolvierten die Probanden die oben beschriebene Testphase erneut.

Abhängig davon, zu welcher Gruppe die Probanden gehörten, erfolgte das Lernen abends um 20 Uhr (Gruppen 1 und 3) oder morgens um 8 Uhr (Gruppen 2 und 4). Die Probanden der über Nacht konsolidierenden Gruppen bekamen im Anschluss an die Testaufgaben ein Polysomnographie Gerät angelegt, um Performancesteigerungen mit unterschiedlichen Schlafstadien korrelieren zu können. Der Abruf erfolgte folglich entweder nach einer zwölfstündigen Konsolidierungsphase inklusive Nachtschlaf morgens um 8 Uhr oder nach einer zwölfstündigen Wachphase abends um 20 Uhr. Alle Probanden sollten zwölf Stunden vor und während der Testungen kein Nikotin oder Koffein zu sich nehmen. Die Teilnehmer wurden gebeten am Tag der Testungen keinen Mittagsschlaf zu halten bzw. nicht nach 23 Uhr ins Bett zu gehen oder vor 6 Uhr aufzustehen. Um den Einfluss von Müdigkeit und Aktiviertheitsgrad auf die Testergebnisse objektivieren zu können und Unterschiede zwischen den Gruppen diesbezüglich auszuschließen, füllten alle Probanden im Anschluss an die Testungen die Stanford Sleepiness Scale (siehe 2.6.1 und Anhang 7.2.1) und die Eigenschaftswörterliste (siehe 2.6.2 und Anhang 7.2.2) aus. Die Schlafqualität wurde mithilfe des Pittsburgh Schlafqualitätsfragebogens objektiviert (siehe Anhang 7.2.3).

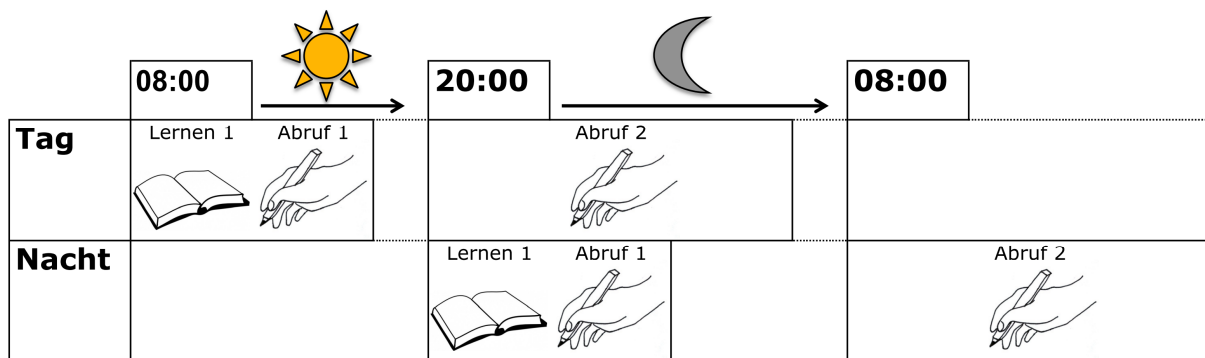


Abb. 6: Studiendesign der PST Studie

2.3 Das Artificial „Grammar“ Learning (AGL)

AGL eignet sich sehr gut um Prozesse des impliziten Lernens zu untersuchen. Das Lernen erfolgt ohne ein Feedback. Die Strings wurden in Anlehnung an Forkstam et al (2008) mithilfe der in Abb. 7 gezeigten Grammatik nach Reber entwickelt. Insgesamt wurden 130 grammatikalische Strings und 50 nicht-grammatikalische Strings, die lediglich in Anfangs- und

Endbuchstaben dieser Rebergrammatik entsprachen entwickelt. Um die Strings untereinander vergleichen zu können wurde der sogenannte Associative Chunk Strength (ACS-Wert) genutzt. Dieser wird ermittelt in dem man die Duos und Triplets eines jeden Strings mit der Gesamthäufigkeit des Duos oder Triplets in der Stringliste vergleicht. Es entsteht ein Maß für die Ähnlichkeit der Strings und ermöglicht die Einteilung in High- (hohe Ähnlichkeit) und Low- (wenig Ähnlichkeit) ACS Strings. Von den 130 grammatikalischen Strings wurden 80 für den Lernblock ausgewählt. Die verbliebenen 50 Strings wurden auf den Baseline-Block (zehn Strings) und den Klassifikationsblock (40 Strings) verteilt und durch die 50 nicht-grammatikalischen Strings ergänzt (ebenfalls zehn Baseline und 40 Klassifikationsstrings). Es wurde darauf geachtet, dass High- und Low-ACS Strings gleichmäßig verteilt waren. Ein T-Test für unabhängige Stichproben, mit dem die grammatikalischen und nicht-grammatikalischen Strings verglichen wurden, ergab für Duos ($T=0,585$, $df=99$, $p=0,560$), Triplets ($T=-0,993$, $df=99$, $p=0,323$) sowie bezogen auf die Länge ($T=-0,126$, $df=99$, $p=0,900$) keine signifikanten Unterschiede in den ACS Werten. Die ACS Werte der Strings in den drei Blöcken waren also vergleichbar. Die Probanden begannen mit dem Baselinetest, in dem sie zwanzig Strings danach bewerten mussten, ob sie grammatikalisch waren oder nicht. Diese Entscheidung sollte intuitiv und ohne langes Überlegen gefällt werden (Instruktion siehe Anhang 7.3.4). Daran schloss sich der Lernblock an, in dem der Proband nacheinander 80 Strings für jeweils 5 Sekunden gezeigt bekam und diese anschließend aus dem Gedächtnis nachtippen sollte (Instruktion siehe Anhang 7.3.3). Die Strings wurden dem Probanden auf einem Computerbildschirm gezeigt. Um das Nachtippen zu vereinfachen wurden die Buchstaben der original Rebergrammatik durch D, F, G, H und J ersetzt (siehe Abb. 7). Unterließ dem Probanden/der Probandin beim Nachtippen ein Fehler, wurde derselbe String erneut gezeigt und anschließend abgetippt. War auch die zweite Eingabe nicht korrekt, folgte der nächste String, sodass jeder Proband/in maximal 160 Strings abtippen musste. In einer darauffolgenden Klassifikationsphase bekam der Proband nacheinander 80 Strings gezeigt, die sich wie oben beschrieben zusammensetzten. Der Proband sollte entscheiden, ob der String grammatikalisch ist oder nicht, in dem er auf dem Bildschirm „Ja“ oder „Nein“ auswählte. Anschließend sollte er/sie selbst je 20 grammatikalische und nicht-grammatikalische Strings generieren und diese auf einem Blatt notieren (siehe Anhang 7.3.5).

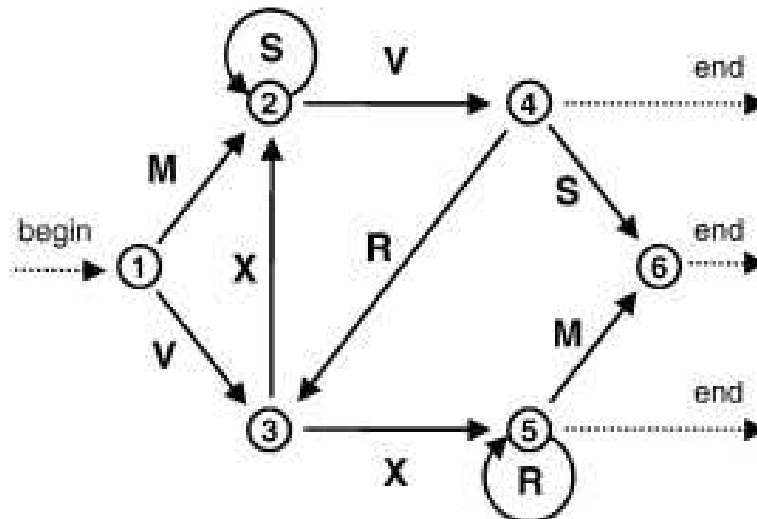


Abb. 7: Rebergrammatik

Die Abbildung zeigt das Schema nach Reber (1967), nach dem die grammatikalischen Strings generiert wurden. Der Pfeil markiert den Start von dort folgt man den Pfeilen bis man an einem Endpunkt rauskommt. Der String MSVRXSVS entspricht diesem Schema, wohingegen der String MVXVRSXM nicht danach entstanden sein kann.

Für die Auswertung der Ergebnisse wurde zunächst das Entscheidungsverhalten der Probanden in der Klassifikationsphase nach mehreren Gesichtspunkten untersucht. Dazu wurde berechnet wie häufig sie im Baselinetest sowie den drei Klassifikationsblöcken grammatikalische und nicht-grammatikalische Strings richtig als solche erkannt haben. Um zu sehen, wie groß der Einfluss des ACS auf die Entscheidung der Probanden war, wurden die grammatikalischen und nicht-grammatikalischen Strings abhängig von ihren ACS-Werten in je zwei Gruppen unterteilt. Die Untersuchung der selbstgenerierten Strings gibt Aufschluss darüber, ob Teile des implizit gelernten Wissens durch die Konsolidierungsphase explizit wurden. Dieses lässt sich daran erkennen, ob die Grammatik des Reber Schemas benutzt wurde, oder ob nur die „Oberflächenähnlichkeit“ der Strings berücksichtigt wurde. Neben der Frage, wie viele Strings der Proband überhaupt richtig generiert hat, wurden die Strings dahingehend untersucht, wie viele richtige Triplets der Proband verwendet hat. Diese zusätzliche Analyse erfolgte, da bereits ein falscher Buchstabe zu einem nicht korrekten String führen kann, obwohl ein Großteil des Strings der Grammatik entspricht. Deshalb wurden in einem weiteren Schritt die ACS Werte bezogen auf die Länge des Strings zu den verschiedenen Zeitpunkten miteinander verglichen um Unterschiede zu erkennen. Je höher diese Werte waren, desto mehr hat sich der Proband die Grammatik eingeprägt.

2.4 Der Probabilistic Selection Task

Beim PST handelt es sich um Lernen durch Feedback. In Anlehnung an Frank et al (2004) nutzt der PST visuelle Stimuli, die nur schwer zu verbalisieren sind. Diese Stimuli werden als Paare (AB, CD, EF) in randomisierter Reihenfolge auf einem Bildschirm präsentiert. Der Proband wird aufgefordert sich intuitiv für ein Symbol zu entscheiden. Hierzu drückt er auf der vorbereiteten Tastatur (es wurden alle Tasten bis auf zwei entfernt und diese mit „rechts“ und „links“ beschriftet) die der Position des Symbols auf dem Bildschirm entsprechende Taste. Anschließend erhält er ein positives oder negatives Feedback zu seiner Entscheidung. Welcher Art dieses Feedback ist, unterliegt der zugrunde gelegten Gewichtung. Entscheidet sich der Proband beispielsweise bei der Symbolpaarung AB für das Symbol A, so erhält er in 85% der Fälle das Feedback „Richtig“ und in 15% der Fälle das Feedback „Falsch“. Entscheidet er sich hingegen für das Symbol B, so erhält er in 15% der Fälle das Feedback „Richtig“ und in 85% der Fälle das Feedback „Falsch“. Die genaue Gewichtung der drei Paare zeigt Abb. 8. Nach sechzig Paarungen entscheidet das Programm, ob der Proband weitere sechzig Paare bewerten muss oder ob die Lernphase an der Stelle beendet ist. Die Bedingung unter der das Programm die Lernphase beendet ist in Abb. 8 dargestellt. Das Programm wiederholt die Lernphase solange bis entweder die in Abb. 8B gezeigte Bedingung erfüllt ist oder der Proband sieben Durchgänge à sechzig Entscheidungen absolviert hat.

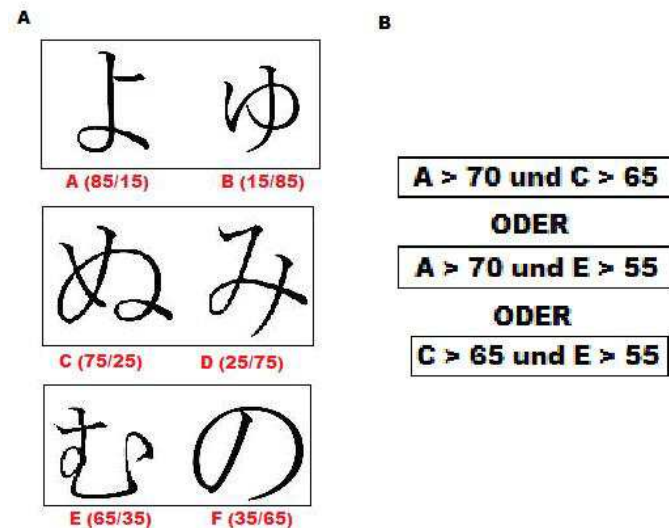


Abb. 8. A: Symbolpaarungen der Lernphase; B: Abbruchkriterium des Lernprogramms

(A) zeigt die Symbolpaarungen aus der Lernphase. Unter jedem Symbol ist angezeigt, wie häufig man bei seiner Wahl ein positives Feedback erhält (positiv/negativ); (B) zeigt die Bedingung unter der das Lernprogramm beendet wird

Die anschließende Testphase besteht aus 150 Paarungen für die eine Entscheidung zu treffen ist. Zusätzlich zu den drei bekannten Paarungen werden jetzt aber auch alle anderen möglichen Kombinationen der sechs Symbole in zufälliger Reihenfolge und Häufigkeit gezeigt und der Proband muss sich erneut für das seiner Ansicht nach bessere Symbol entscheiden. Im Unterschied zur Lernphase erhält er nun keine Rückmeldung mehr dazu ob seine Entscheidung richtig oder falsch ist. Dadurch wird ein weiteres Lernen verhindert.

Der PST bietet die Möglichkeit das Verhalten der Probanden in dieser Testsituation nach verschiedenen Gesichtspunkten auszuwerten. Um den Einfluss des positiven oder negativen Feedbacks zu betrachten, werden die Testpaare in die Gruppen „Choose A“ und „Avoid B“ eingeteilt (siehe Abb. 9). Eine Strategie zur richtigen Entscheidung zu kommen ist immer A, also das stärkste Symbol für ein positives Feedback zu wählen. „Choose A“ subsumiert hierbei alle Antwortmöglichkeiten mit der höheren Wahrscheinlichkeit eines positiven Feedbacks (Karten „A“, „C“ und „E“). Man kommt aber auch zur richtigen Lösung, wenn man das schwächste Symbol mit der höchsten Wahrscheinlichkeit für ein negatives Feedback vermeidet („Avoid B“). „Avoid B“ subsumiert hierbei alle Antwortmöglichkeiten mit der höheren Wahrscheinlichkeit ein negatives Feedback zu erhalten (Karten „B“, „D“ und „F“). Somit kann der Einfluss positiven und negativen Feedbacks auf den Lernerfolg untersucht werden. Dadurch ist es möglich, die Bedeutung des Schlafes für positive und negative Verstärkung zu untersuchen.

Man kann die neuen Kombinationen der Symbole auch in Bezug auf den Unterschied in der

Häufigkeit eines positiven Feedbacks weiter unterteilen. Es entstehen so fünf Untergruppen für die weitere Analyse (zehn bis sechzig Prozent Unterschied, da dreißig Prozent nur zwischen der Paarung EF vorliegen, die bereits aus der Lernphase bekannt ist und nicht weiter berücksichtigt wird). Abhängig davon, wie groß der Unterschied in der Gewichtung zwischen den Symbolen in der Lernphase war, führt dieser zu kleinen und großen Konflikten in der Testphase. Daher werden diese fünf Untergruppen weiter zusammengefasst zu zwei Subgruppen. Auf der einen Seite die Paarungen mit geringer Differenz (zehn und zwanzig Prozent) zu sogenannten „HighConflict“ Paarungen (weil beide Auswahlalternativen sich sehr ähnlich sind) und auf der anderen Seite die Paarungen mit größerem Abstand zu sogenannten „Low-Conflict“ Paarungen (siehe ebenfalls Abb. 9). Die „HighConflict“ Paarungen können weiter unterteilt werden, in sogenannte „WinWin“- und sogenannte „Loose-Loose“ Situationen. Es ergeben sich also drei Gesichtspunkte nach denen man die Testleistung analysieren kann. Dazu werden zunächst die Entscheidungen an sich betrachtet, also beispielsweise wie oft hat die Testperson sich in hohen Konfliktsituationen richtig entschieden. Welche Paarungen bei welcher Fragestellung betrachtet werden zeigt die in Abb. 9 dargestellte Einteilung. Das Programm hat für jede Paarung und jeden Probanden die mittlere Reaktionszeit sowohl der falschen als auch der richtigen Entscheidungen berechnet. Ebenfalls orientiert an der Einteilung aus Abb. 9 ist es nun möglich die Reaktionszeiten für verschiedene Situationen zu berechnen und auf Unterschiede zu untersuchen.

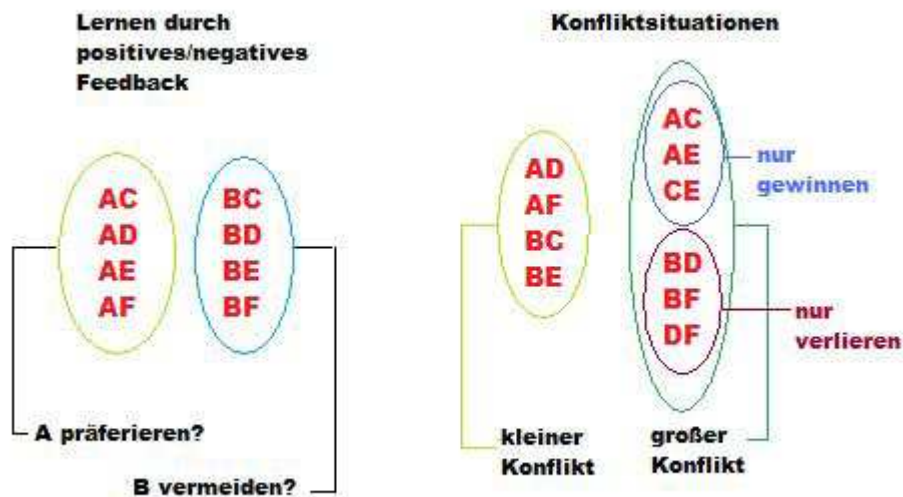


Abb. 9: Paarungen aus der Testphase

Links sind die Paarungen der Feedback Fragestellung dargestellt, rechts die Paarungen aufgeteilt, in die verschiedenen Konfliktsituationen

2.5 Polysomnographie

Um die Leistung der Probanden der beiden Schlafgruppen mit den Schlafstadien zu korrelieren, bekamen die Probanden über Nacht Polysomnographie-Geräte (SOMNOscreen, SOMNOmedics) angelegt. Diese Geräte zeichnen kontinuierlich verschiedene Parameter wie Hirnströme, Augen- und Kaubewegung sowie ein einfaches Elektrokardiogramm (EKG) auf. Anhand der gemessenen Daten erfolgt die Erstellung eines Schlafprofils. Hierzu wurde die Ableitung nach Rechtschaffen und Kales (1968) genutzt. Die Platzierung der Elektroden für das Elektroenzephalogramm (EEG) wird in Abb. 10 gezeigt. Um eine bessere Einteilung in REM und Non-REM Schlaf vorzunehmen, kamen Elektroden für das Elektroofokulogramm (EOG; Orbita links oben E1 und rechts unten E2) hinzu. Muskelaktivität bzw. Muskeltonus des großen Kaumuskels (M. masseter) wurden mit zwei weiteren Elektroden am Kinn (rechts und links) erfasst. Um EKG- Artefakte im EEG und EOG zu detektieren wurden noch zwei EKG-Elektroden angeklebt (2. Interkostalraum rechts und unter der Brust links). Zusätzlich wurden Lageveränderungen und Atemexkursionen der Probanden aufgezeichnet.

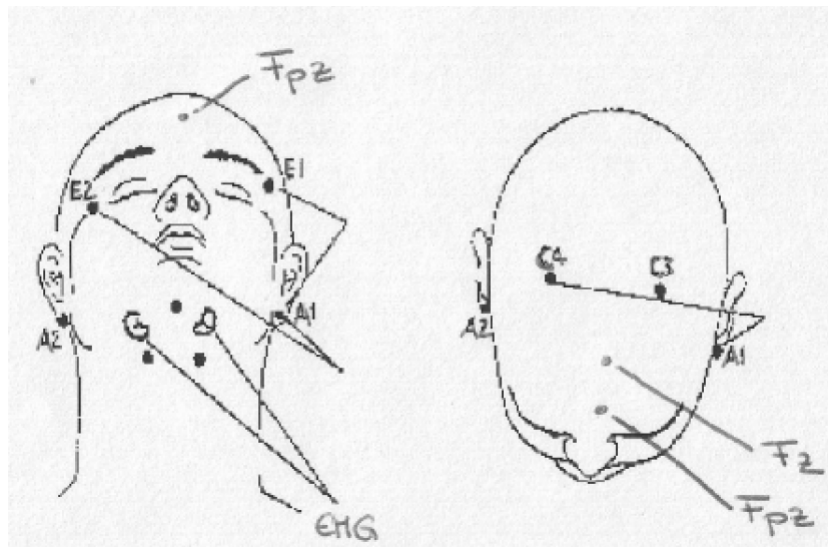


Abb. 10: Elektrodenpositionierung für die PSG nach Rechtschaffen und Kales (1968)

Linke Abb.: A1 = Mastoid links, A2 = Mastoid rechts, E1 = Orbita links oben, E2 = Orbita rechts unten, Fpz = Stirnpol, EMG = Positionierung der Elektroden für das EMG. Rechte Abb.: A1 = Mastoid links, A2 = Mastoid rechts, C3 = zentral oben links, C4 = zentral oben rechts, Fz = Frontalpol

Bei der Auswertung der Schlaf-EEGs wurden in Anlehnung an Rechtschaffen und Kales (1968) folgende Zustände bewertet und zur Erstellung eines Schlafprofils für jeden Probanden genutzt: Wach, Schlafstadien 1-4, REM-Schlaf sowie Movementarousals. Diese Profile ermöglichten die Korrelation der Leistung mit den Schlafstadien.

2.6. Fragebögen zu Wachheit und Schlafqualität

2.6.1. Stanford Sleepiness Scale (SSS)

Die von Hoddes, Dement et al. 1973 vorgestellte Stanford Sleepiness Scale (SSS, siehe Anhang 7.2.1) ist eine international verbreitete Skala zur subjektiven Einschätzung der Wachheit bzw. Schläfrigkeit. Sie umfasst sieben stichwortartig zusammengefasste Vigilanzstufen, von denen der Proband die für ihn augenblicklich am ehesten zutreffende auswählt. Die einzelnen Stufen sind mit Ziffern von 1 („fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach“) bis 7 („Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken“) versehen. Aus dieser Zahl ergibt sich auch gleichzeitig die Summe des Scores. Aus der Reihenfolge der Items 1 bis 7 ergibt sich die achte Stufe („Schlafe“) als logische Konsequenz. Sie wird aber nicht in den Score mit einbezogen, da dem Probanden in diesem Fall die Testung nicht möglich ist. In der vorliegenden Studie wurde die deutsche Übersetzung der SSS genutzt.

2.6.2. Eigenschaftswörterliste

Die Eigenschaftswörterliste (EWL, siehe Anhang 7.2.2) dient ebenfalls der Erfassung des allgemeinen Wachheitszustandes. Als mehrdimensionales Selbstbeurteilungsverfahren dient sie der quantitativen Beurteilung des aktuellen Befindens (Janke und Debus 1978). Die in dieser Studie verwendete längere Form EWL-N erfasst 15 Befindlichkeitsaspekte mithilfe von Items einer Subskala (insgesamt 161 Adjektive), die sich sechs größeren Bereichen zuordnen lassen, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Die Adjektive der Subskalen sind in gemischter Reihenfolge in einer Liste zusammengestellt. Anhand dieser Liste beurteilt der Proband durch Zustimmung oder Ablehnung seine momentane Verfassung.

Tabelle 2: Items der Eigenschaftswörterliste

Bereich	Subskala	
Leistungsbezogene Aktivität	A	Aktiviertheit
	B	Konzentriertheit
Allgemeine Desaktivität	C	Desaktiviertheit
	D	Müdigkeit
	E	Benommenheit
Extraversion/ Introversion	F	Extrovertiertheit
	G	Introvertiertheit
Allgemeines Wohlbehagen	H	Selbstsicherheit
	I	Gehobene Stimmung
Emotionale Gereiztheit	J	Erregtheit
	K	Empfindlichkeit
	L	Ärger
Angst	M	Ängstlichkeit
	N	Deprimiertheit
	O	Verträumtheit

Für die vorliegenden Studien waren nur Aspekte von Bedeutung die auf Wachheit bzw. Schläfrigkeit abzielen. Daher wurde die EWL-N um die Kategorien der anderen Befindlichkeitsaspekte gekürzt, sodass nur die Items folgender Bereiche verwendet wurden:

A	Aktiviertheit	19 Items
B	Konzentriertheit	6 Items
C	Desaktiviertheit	16 Items
D	Müdigkeit	7 Items
E	Benommenheit	9 Items
I	Gehobene Stimmung	16 Items
J	Erregtheit	15 Items
O	Verträumtheit	10 Items

Es ergab sich also eine gekürzte EWL-N (siehe Anhang 7.2.2) mit 98 Items. Unter zu Hilfe-nahme einer Schablone, die für jede Spalte die verschiedenen Buchstaben angibt, zu denen das betreffende Item gehört, erfolgte die Auswertung per Hand. Für jeden Aspekt wird die Anzahl der vom Probanden mit „Zustimmung“ gewerteten Items gezählt und ergibt somit den Wert des Scores für die jeweilige Subskala.

2.6.3. Pittsburgh Schlafqualitätsfragebogen

Der Pittsburgh Schlafqualitätsfragebogen (PSQI) wurde von Buysse et al. (1989) etabliert und dient der retrospektiven Erfassung der Schlafqualität in den letzten vier Wochen. Er besteht sowohl aus Fragen zur Selbstbeurteilung (19 Fragen) als auch aus Fragen zur Fremdbeurteilung (5 Fragen von Mitbewohner oder Partner auszufüllen). Die Fragen zur Fremdbeurteilung gehen ebenso wenig in die quantitative Auswertung ein, wie die 19. Frage zu den Wohnverhältnissen (Mitbewohner oder Partner). Die verbliebenen 18 Fragen erfassen, in 7 Komponenten gegliedert, die Häufigkeit schlafstörender Ereignisse, die Einschätzung der Schlafqualität, die gewöhnlichen Schlafzeiten, Einschlafzeit und Schlafdauer, die Einnahme von Schlafmedikationen, sowie die Tagesmüdigkeit. Jede dieser Komponenten kann einen Wert zwischen 0 und 3 annehmen. Der Gesamtwert ergibt sich aus der Summation der einzelnen Komponenten-Scores und kann einen Wert zwischen 0 und 21 annehmen, wobei die Schlafqualität mit steigendem Score abnimmt. Es besteht ein empirisch bestimmter Cut-off Wert (von 5), der eine Einteilung in „gute“ und „schlechte“ Schläfer erlaubt. Auf der Homepage der DGSM findet sich neben dem Test auch eine Anleitung zur Auswertung bzw. ein Auswertungsprogramm zur Auswertung mit Windows Excel (siehe DGSM).

Die Test-Retest-Reliabilität (Stabilität) des PSQI Gesamtscores liegt zwischen $r=0,82$ (Gentili, Weiner, Kuchibhatla et al. 1995) und $r=0,89$ (Backhaus, Born, Hoeckesfeld et al. 2007). Die diagnostische Validität des PSQI ist bislang in insgesamt vier Studien untersucht worden. Die Sensitivität des Gesamt-Score lag dabei immer zwischen 80% und 100% (Fichtenberg, Putnam, Mann et al. 2001). Die Spezifitätswerte, die allerdings nur in drei Studien untersucht wurden, waren mit Werten zwischen 83% und 86,6% (Doi, Minowa, Uchiyama et al. 2000) ähnlich hoch.

2.7 Statistische Analysen

Anhand der unter 2.6 beschriebenen Kriterien für die Auswertung wurden die Scores der verschiedenen Fragebögen ermittelt. Aufgrund des Skalencharakters der Scores wurden für die Auswertung nicht parametrische Testverfahren verwendet. Für die Analyse der Performance im PST wurden abhängig von der Fragestellung jeweils die Häufigkeiten der richtig getroffenen Entscheidungen in Form von Mittelwerten berechnet. Das Testprogramm ermittelte für alle Paarungen jeweils die mittlere Reaktionszeit. Auch hier wurden je nach Fragestellung die entsprechenden Mittelwerte der Reaktionszeiten für richtige und falsche Entscheidungen be-

rechnet. Für die Analyse der Klassifikationsergebnisse beim AGL wurden die Mittelwerte für richtig getroffene Entscheidungen für die vier Stringgruppen („Grammar“ high bzw. low/ Non“Grammar“ high bzw. low) sowie für grammatikalische und nicht-grammatikalische Strings berechnet. Bei den selbst generierten Strings wurde die Anzahl richtig generierter Strings zu den einzelnen Zeitpunkten berechnet. Für alle Strings wurden die ACS Werten für Duos, Triplets und bezogen auf die Stringlänge automatisiert berechnet und für die Analyse die Mittelwerte bestimmt. Da sowohl beim AGL als auch beim PST mehrere Zeitpunkte miteinander verglichen und Einflüsse einzelner Faktoren untersucht werden sollen, wurden Varianzanalysen (ANOVA – ANalysis Of VAriance) mit Messwiederholungen gerechnet. Dies ermöglicht es zum einen verschiedene Zeitpunkte einander gegenüberzustellen oder Interaktionen, welche ein Divergieren oder Konvergieren der Testergebnisse unterschiedlicher Gruppen im Zeitverlauf untersuchen, aufzudecken. Zum anderen kann die Zielvariable (abhängige Variable, in diesem Fall bspw. die Mittelwerte der Entscheidungen oder Reaktionszeiten) mit verschiedenen Einflussvariablen (unabhängige Variablen, in diesem Fall z.B. Konfliktsituation, Stringart oder der Faktor Gruppe) gegeneinander verglichen und die Beeinflussung durch die Einflussvariablen überprüft werden. Die Analysen der AGL Klassifikationsergebnisse schlossen einen „Gruppen“- und drei Messwiederholungsfaktoren für die unterschiedliche „Stringart“, die Höhe des ACS Wertes sowie die drei Messzeitpunkte ein. Bei den selbst generierten Strings erfolgte die Berechnung, getrennt nach grammatikalischen und nicht-grammatikalischen Strings, mit einem Gruppen- und einem Messwiederholungsfaktor Zeitpunkt, für jede der drei ACS Kategorien (Duo, Triplet, Länge) sowie der Anzahl korrekt generierter Strings und richtig genutzter Triplets. Anschließend wurden mit Hilfe von post-hoc T-Tests signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen herausgearbeitet. Die Analysen der Performance im PST enthielten je nach Fragestellung einen Gruppen- sowie die Messwiederholungsfaktoren Konflikt (high vs. low) oder Strategie („Choose A“ vs. „Avoid B“) und Zeitpunkt (T1 vs. T2). Für die Reaktionszeiten kam noch der Messwiederholungsfaktor Entscheidung (richtig vs. falsch) hinzu. Dieses Wahrscheinlichkeitsmodell setzt voraus das die Werte normal verteilt sind. Durch Berechnung wird die Zufallsvariable mit der Größe F aus einer F $k-1$; $n-k$ – Verteilung bestimmt (k = Anzahl der Gruppen, n = Anzahl der Messwerte). Der Wert der F-Verteilung für die gegebenen Freiheitsgrade (F-Quantil) kann in einer Fisher-Tafel nachgeschlagen werden. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 (das heißt die Irrtumswahrscheinlichkeit betrug 5%) festgelegt.

Unter Anwendung des Pearson – Korrelations –Koeffizienten wurden Veränderungen der Probanden, die über Nacht konsolidiert haben mit den Schlafstadienzeiten korreliert. Es han-

delt sich hierbei um ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei mindestens intervallskalierten Merkmalen. Hierfür wurde angenommen, dass die Werte normal verteilt sind und einem linearen Zusammenhang folgen.

Der Fragebogen zur Schlafqualität (PSQI) sowie die Scores der SSS und EWL wurden für die PST und die AGL Daten mithilfe des Mann-Whitney- U- Tests evaluiert. Es handelt sich hierbei um einen parameterfreien Test, der überprüft, ob sich zwei Stichproben in einem nicht normalverteilten Merkmal signifikant unterscheiden. Das mittlere Alter wurde für PST und AGL Gruppen mittels T-Tests für unabhängige Stichproben auf signifikante Unterschiede untersucht.

Für alle Analysen wurde ein p-Wert $< 0,05$ als signifikant gewertet.

Die statistischen Analysen entstanden mithilfe des Programms SPSS 19.0 für Windows (www.spss.com). Für die Erstellung der Graphiken und Tabellen wurden Microsoft Office Excel, Word 2003 sowie SPSS 19.0 für Windows genutzt.

3 Ergebnisse

3.1 Studie zum Probabilistic Selection Task

3.1.1 Probandenkollektiv

An der Studie zum PST nahmen 35 Probanden im Alter von 18 bis 28 Jahren teil. Das mittlere Alter betrug 24,1 Jahre (Standardabweichung (SD) 2 Jahre). Alle Teilnehmer hatten keine neurologischen und psychiatrischen Vorerkrankungen. Tabelle 3 zeigt die gemittelten Werte der einzelnen Gruppen in Bezug auf das Alter. Im statistischen Gruppenvergleich zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in Bezug auf das mittlere Alter ($T=-0,970$, $p=0,339$, siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittleres Alter der beiden Gruppen des PST

	Schlaf- gruppe	Wach- gruppe	T	p-Wert
Probandenzahl	n=18	n=17	--	--
mittleres Alter (Jahre)	23,67	24,59	-0,970	0,339
Analyse „Alter“: T-Test für unabhängige Stichproben mit Gruppe als Gruppierungsvariable und Alter als Testvariable				

3.1.2 Lernen

Insgesamt absolvierten sieben Probanden (drei in der Wach- und vier in der Schlafgruppe) alle sieben möglichen Durchgänge. Am Ende der Lernphase gab es weder bei der Anzahl benötigter Durchgänge noch beim Lernerfolg für die drei Paare signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die Probanden der Wachgruppe benötigten im Mittel 2,8 (SD 2,2) und die Probanden der Schlafgruppe 3,4 (SD 2,2) Durchgänge um die Bedingung zu erfüllen ($T=0,748$, $df=33$, $p=0,46$). Lediglich für die schwächste Paarung EF zeigte sich ein Unterschied im Sinn eines Trends ($F=2,983$; $p=0,094$) zwischen den beiden Gruppen nach Abschluss der Lernphase ($F<1$; $p>0,8$ für die beiden anderen Paare). Die Ausgangslage der beiden Gruppen ist also vergleichbar.

3.1.3 Entscheidungsverhalten in verschiedenen Konfliktsituationen

Um das Entscheidungsverhalten in verschiedenen Konfliktsituationen zu erfassen, fasst man die Symbolpaarungen anhand der Differenz zwischen den Symbolen wie unter 2.3 beschrieben zu sogenannten „HighConflict“ bzw. „LowConflict“ Entscheidungen zusammen. Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Zeit“ (T0 und T1) und „Konflikt“ („HighConflict“ und „LowConflict“) und Gruppe als Zwischensubjektfaktor zeigt einen Haupteffekt für den Faktor „Konflikt“ ($F=42,550$; $p<0,001$). Die Probanden treffen signifikant mehr korrekte „LowConflict“ als „HighConflict“ Entscheidungen, unabhängig von Konsolidierungsbedingung (Gruppe) und dem Messzeitpunkt (Zeit). In Abb. 11 ist zu erkennen, dass die Probanden der Schlafbedingung den Anteil korrekter „LowConflict“ Entscheidungen von T0 zu T1 steigern, wogegen die Probanden der Wachbedingung sich leicht verschlechtern. Diese gegenseitige Entwicklung ist statistisch belegbar durch die signifikante Interaktion zwischen Zeit und Gruppe: ($F=4,192$; $p=0,049$). Alle anderen Faktoren und Interaktionen zeigen keine signifikanten Effekte ($F<3,5$; $p>0,07$).

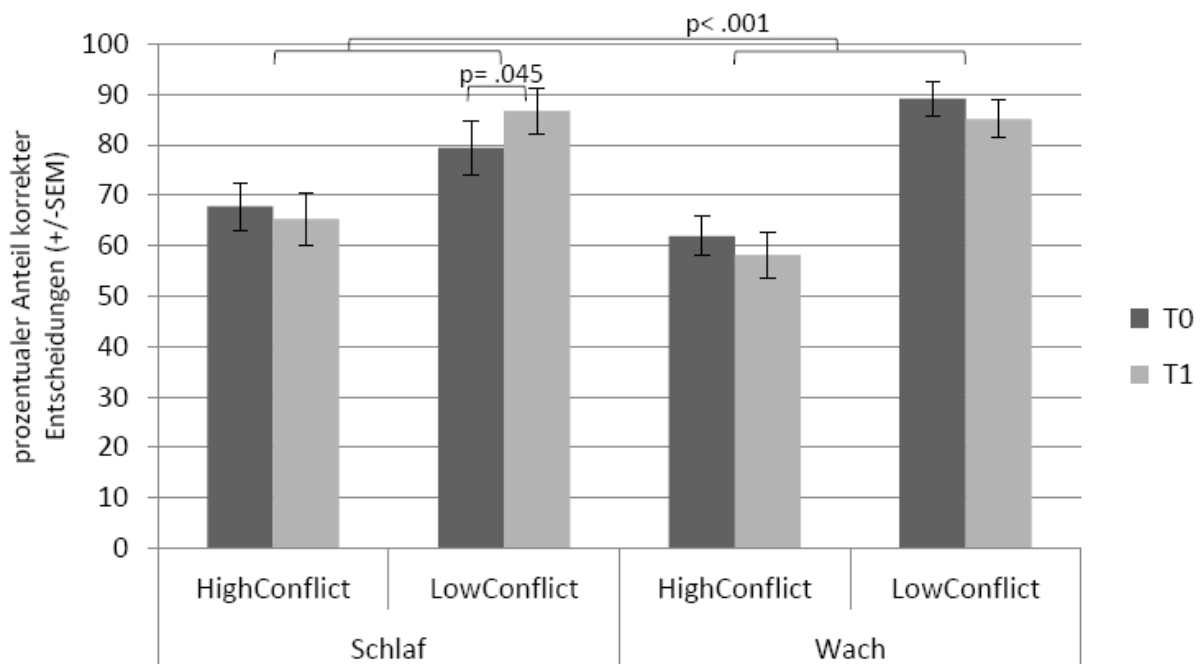


Abb. 11: Anteil korrekter Entscheidungen High- und „LowConflict“

Dargestellt ist der prozentuale Anteil korrekter „HighConflict“ und „LowConflict“ Entscheidungen zu den Messzeitpunkten T0 und T1 (vor und nach der Konsolidierungsphase) für Schlaf- und Wachbedingung.

Die beschriebene Verbesserung der Probanden aus der Schlafbedingung in „LowConflict“ Entscheidungen ist signifikant, wie ein T-Test für abhängige Stichproben zeigt ($t_{15}=-2,185$; $p=0,045$). In der Wachbedingung gibt es keine signifikante Veränderung von T0 zu T1

($t_{15}=1,295$; $p=0,215$). Um den Effekt der Konsolidierung für die Wach- und Schlafbedingung zu analysieren wurde die Differenz der prozentualen Anteile richtig getroffener Entscheidungen in „LowConflict“ Situationen zwischen T0 und T1 berechnet. Lediglich bei den Probanden der Schlafbedingung kommt es in „LowConflict“ Entscheidungen zu einer positiven Veränderung, das bedeutet, sie haben nach der Konsolidierung mehr korrekte Entscheidungen getroffen als vorher. Bei den Probanden der Wachbedingung sinkt der Anteil korrekter Entscheidungen sowohl bei den „High“- als auch bei den „LowConflict“ Entscheidungen. Dies ist in Abb. 11 dargestellt.

Ein T-Test für unabhängige Stichproben ergibt einen signifikanten Unterschied in der Konsolidierung bei „LowConflict“-Entscheidungen zwischen Schlaf- und Wachbedingung: ($t_{30}=2,489$; $p=0,019$; siehe Abb. 12).

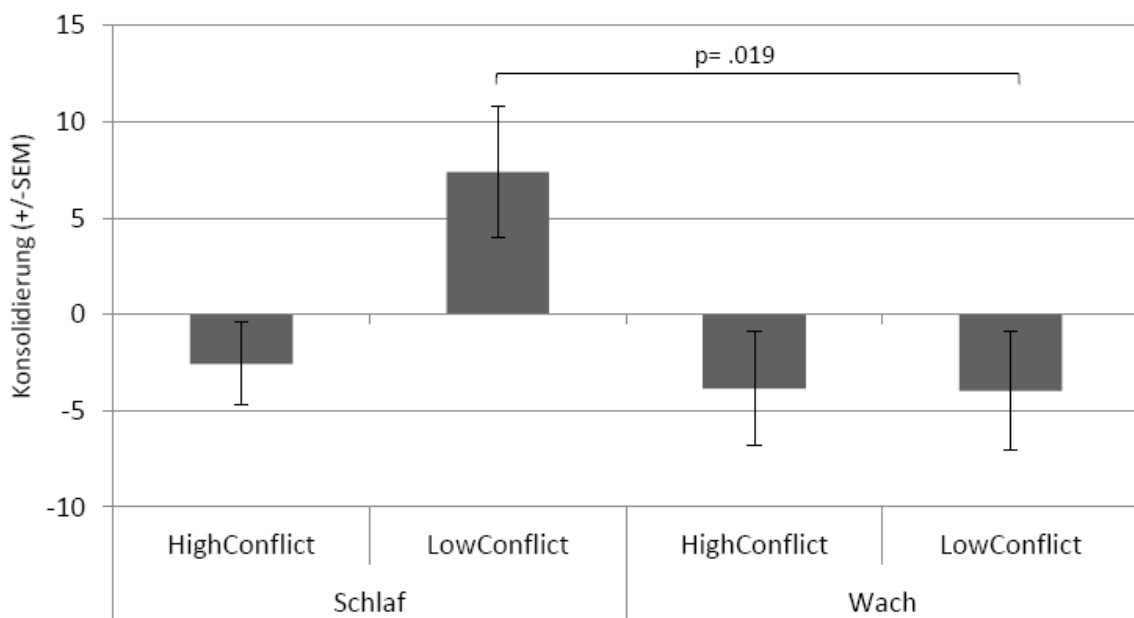


Abb. 12: Konsolidierung „High“- und „LowConflict“

Als Konsolidierung ist hier die Differenz der prozentualen Anteile korrekter Entscheidungen zwischen T0 und T1 dargestellt. In der Schlafbedingung wird ein Zuwachs korrekter „LowConflict“-Entscheidungen deutlich, der sich signifikant von der Wachbedingung unterscheidet.

Bereits Abb. 11 zeigt, dass es weder den Probanden der Wach- noch denen der Schlafbedingung gelingt, den Anteil korrekter Entscheidungen in „HighConflict“ Situationen von T0 zu T1 zu steigern. In Abb. 12 ist anhand der negativen Differenz zu erkennen, dass Schlaf- und Wachgruppe sich stattdessen verschlechtern. Diese Veränderung ist jedoch statistisch nicht signifikant (Wach: $t_{15}=1,287$; $p=0,217$; Schlaf: $t_{15}=1,200$; $p=0,249$).

Wie unter 2.3 beschrieben, können „HighConflict“ Entscheidungen noch weiter unterteilt werden, in sogenannte „WinWin“ und „LooseLoose“ Situationen. In Abb. 13 ist der Anteil

korrekter „LooseLoose“ und „WinWin“ Entscheidungen für die beiden Gruppen dargestellt. Weder in der Schlaf- noch in der Wachbedingung gibt es signifikante Unterschiede zwischen dem Anteil korrekter „WinWin“ und „LooseLoose“ Entscheidungen ($p > 0,21$ für alle Vergleiche). Auch ein Vergleich der Gruppen untereinander zeigt keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,24$ für alle Vergleiche). Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Zeit“ (T0 und T1) und „Konflikt“ („WinWin“, „LooseLoose“) und Gruppe als Zwischengruppenfaktor ergab daher keine signifikanten Haupt- und Interaktionseffekte.

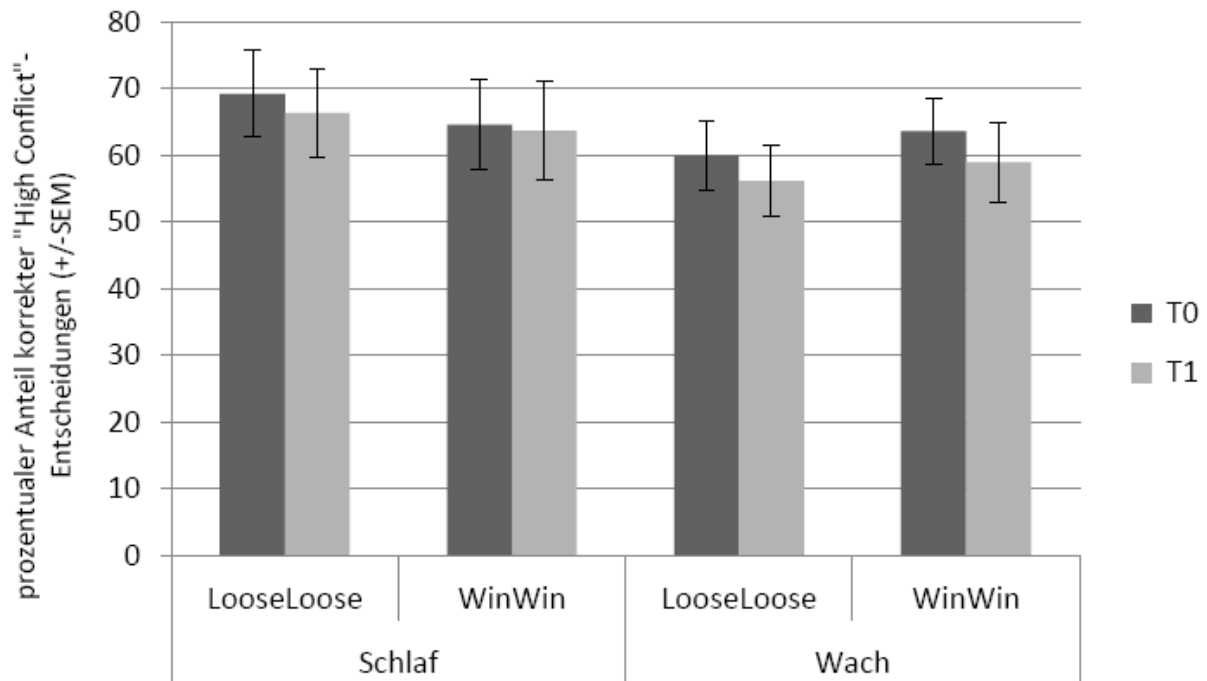


Abb. 13: Anteil korrekter „HighConflict“-Entscheidungen

Dargestellt ist der prozentuale Anteil korrekter „HighConflict“-Entscheidungen für die Fälle „WinWin“ und „LooseLoose“ zu den Messzeitpunkten T0 und T1 (vor und nach der Konsolidierungsphase) für Schlaf- und Wachbedingung

Auch für die beiden „HighConflict“ Situationen wurde wieder die Differenz zwischen den richtig getroffenen Entscheidungen zu T0 und T1 berechnet um die Konsolidierung darzustellen. In Abb. 14 ist zu erkennen, dass sich beide Gruppen sowohl in „LooseLoose“ als auch in „WinWin“ Situationen verschlechtern. Diese Veränderung ist aber weder in der Schlaf- noch in der Wachgruppe signifikant unterschiedlich zwischen beiden Konfliktsituationen ($p > 0,63$ für alle Vergleiche). Auch die beiden Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,47$ für alle Vergleiche).

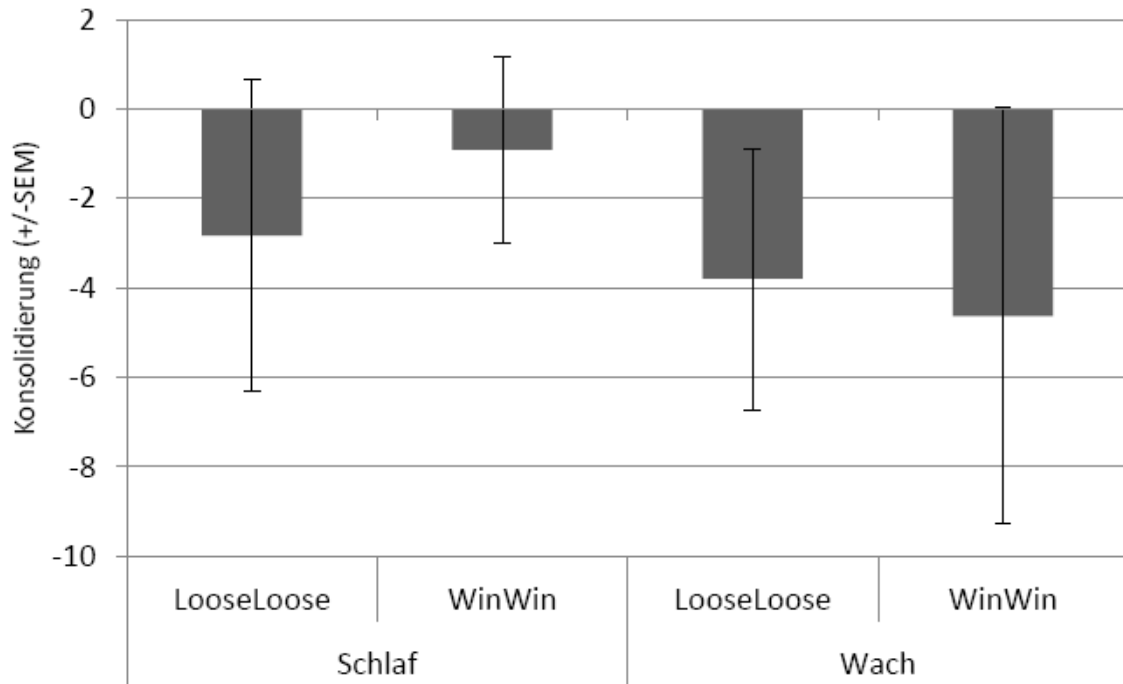


Abb. 14: Konsolidierung „Loose-Loose“ und „Win-Win“

Als Konsolidierung ist hier die Differenz der prozentualen Anteile korrekter Entscheidungen in „Loose-Loose“ und „Win-Win“ Situationen zwischen T0 und T1 dargestellt.

3.1.4 Reaktionszeiten in verschiedenen Konfliktsituationen

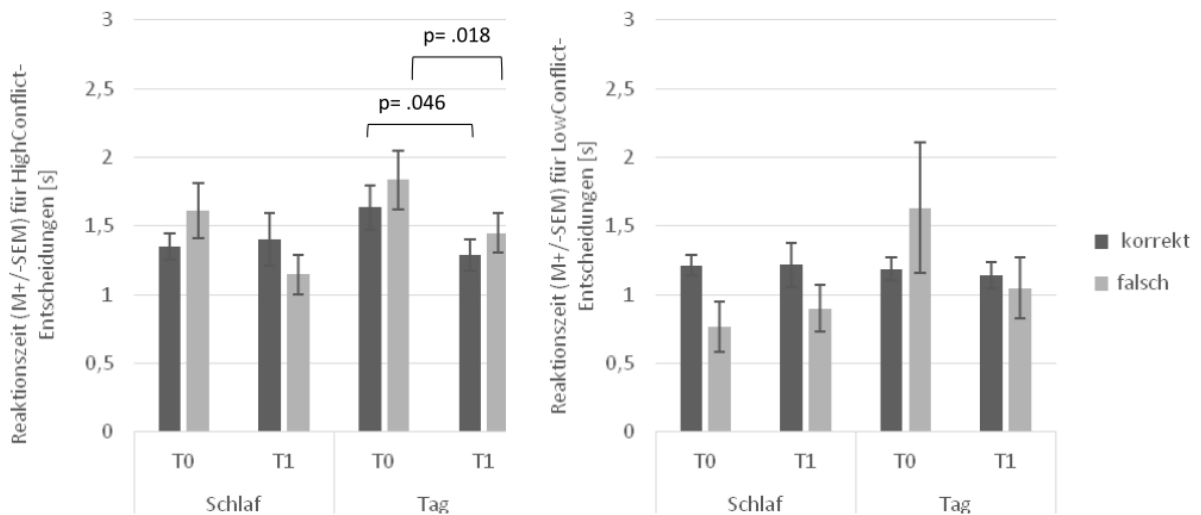


Abb. 15: Reaktionszeiten „High“- und „LowConflict“ Entscheidungen

Mittlere Reaktionszeiten für korrekte und falsche Entscheidungen in hohen und niedrigen Konfliktsituationen („HighConflict“, „LowConflict“) für Schlaf- und Wachbedingung zu den Zeitpunkten T0 und T1

Abb. 15 stellt die mittleren Reaktionszeiten für richtige und falsche „High“ – und „Low-Conflict“ Entscheidungen zu den zwei Messzeitpunkten und aufgeteilt in die beiden Gruppen dar. Zu erkennen ist die etwas kürzere Reaktionszeit sowohl für falsche als auch für richtige „LowConflict“- (links Abb. 15) im Vergleich zu „HighConflict“ Entscheidungen (rechts Abb. 15). Die Reaktionszeit hängt also auch von der Art der Schwierigkeit der Entscheidung ab. Statistisch belegt wird dies durch den signifikanten Haupteffekt für den Faktor Konflikt ($F=12,808$; $p=0,001$), den eine ANOVA mit den Faktoren „Zeit“ (T0, T1) und „Konflikt“ („HighConflict“, „LowConflict“) als Innersubjektfaktor sowie dem Zwischengruppenfaktor „Gruppe“ (Schlaf, Wach) zeigt. Alle anderen Faktoren und Interaktionen zeigen keine signifikanten Effekte ebenso wie eine ANOVA mit den oben genannten Faktoren für die Reaktionszeiten bei falschen Entscheidungen. Analysiert man die beiden Gruppen getrennt mit Hilfe von T-Tests so zeigt sich, dass die Probanden der Wachbedingung nach der Konsolidierung (T1) in „HighConflict“ Situationen signifikant schneller die richtige Entscheidung treffen als vorher (T0; $t_{15}=2,180$; $p=0,046$). Die mittleren Reaktionszeiten sowohl für richtige als auch für falsche Entscheidungen in „HighConflict“ Situationen verändern sich in der Schlafbedingung nicht signifikant von T0 zu T1 ($p>0,31$ für alle Vergleiche). Weder bei den Probanden der Wach- noch denen der Schlafbedingung gibt es signifikante Veränderungen bei den mittleren Reaktionszeiten der „LowConflict“ Entscheidungen ($p>0,23$ für alle Vergleiche). Auch zwischen den beiden Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede bei den Reaktionszeiten in „High“- und „LowConflict“ Entscheidungen ($p>0,14$ für alle Vergleiche).

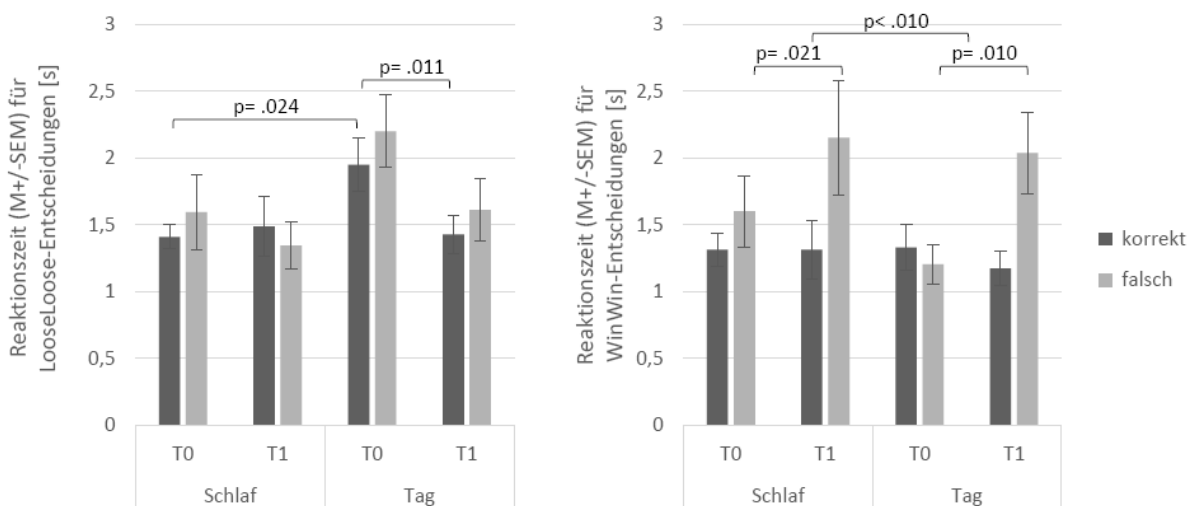


Abb. 16: Reaktionszeiten für „Loose-Loose“ und „Win-Win“ Entscheidungen

Mittlere Reaktionszeiten für korrekte und falsche Entscheidungen in den hohen Konfliktsituationen „LooseLoose“ und „WinWin“ für Schlaf- und Wachbedingung zu den Zeitpunkten T0 und T1.

In Abb. 16 ist zu erkennen, dass die Probanden beider Gruppen im Vergleich von Zeitpunkt T0 zu T1 signifikant mehr Zeit für falsch getroffene „Win-Win“-Entscheidungen benötigen. Statistisch belegt wird dies durch einen T-Test für abhängige Stichproben (Schlaf: $t_{13}=-2,625$; $p=0,021$; Wach: $t_{14}=-2,996$; $p=0,010$). Die mittleren Reaktionszeiten für richtige Entscheidungen in „Win-Win“ Situationen verändern sich hingegen weder in der Wach- noch in der Schlafbedingung signifikant ($p>0,423$ für alle Vergleiche). Bei den Entscheidungen in „Loose-Loose“ Situationen treffen die Probanden der Wachbedingung nach der Konsolidierung signifikant schneller die richtige Entscheidung als noch davor ($t_{15}=2,889$; $p=0,011$). Die Probanden der Schlafbedingung hingegen benötigen zu beiden Zeitpunkten in etwa dieselbe Zeit für richtige Entscheidungen ($t_{15}=-0,377$; $p=0,711$). Wie in Abb. 16 auf der rechten Seite zu erkennen ist, treffen die Probanden der Wachbedingung nach der Konsolidierung falsche Entscheidungen deutlich schneller als zum Zeitpunkt des Lernens (T0). Diese Verbesserung ist aber nicht signifikant ($t_{14}=2,113$; $p=0,053$). Vergleicht man die Gruppen miteinander so zeigt sich, dass Probanden der Schlafbedingung bereits vor der Konsolidierung für korrekte Entscheidungen in „Loose-Loose“ Situationen signifikant kürzere Zeit benötigen als Probanden der Wachbedingung ($t_{21}=-2,432$; $p=0,024$; siehe Abb. 16). Zu allen anderen Zeitpunkten gibt es keine signifikanten Unterschieden in den mittleren Reaktionszeiten zwischen den beiden Gruppen ($p>0,31$ für alle Vergleiche). Die größten Veränderungen betreffen also die mittleren Reaktionszeiten bei den falsch getroffenen Entscheidungen. Vergleicht man diesbezüglich „Loose-Loose“ und „Win-Win“ Entscheidungen so fällt auf, dass sich die Reaktionszeiten in „Loose-Loose“ Entscheidungen verkürzen, während sie sich in „Win-Win“ Situationen verlängern. Die Reaktionszeiten für richtige Entscheidungen verändern sich nur in der Wachgruppe von T0 zu T1 signifikant, wie oben beschrieben. Diese Beobachtungen sind statistisch belegbar mit Hilfe einer ANOVA. Als Innersubjektfaktoren wurden „Zeit“ (T0 und T1), „Konflikt“ („Win-Win“, „Loose-Loose“), sowie „Entscheidung“ (korrekt, falsch) gewählt und der Faktor „Gruppe“ (Schlaf, Tag) als Zwischengruppenfaktor festgelegt. Es zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Entscheidung: $F(25,1)=14,737$; $p=0,001$. Auch die Interaktionen „Zeit x Entscheidung“ ($F(25,1)=7,705$; $p=0,010$), „Zeit x Konflikt“ ($F(25,1)=32,653$; $p<0,001$) sowie „Zeit x Entscheidung x Konflikt“ ($F(25,1)=15,075$; $p=0,001$) zeigen signifikante Effekte.

3.1.5 Konsolidierung des erlernten Bevorzugungs- bzw. Vermeidungsverhalten („Choose A“ und „Avoid B“)

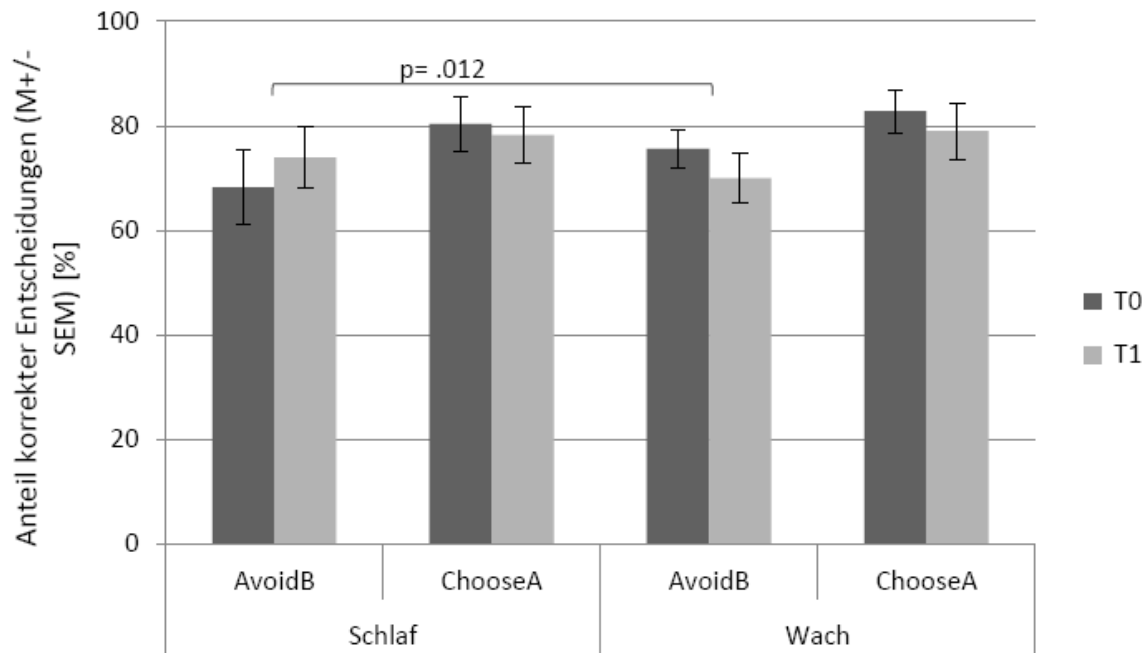


Abb. 17: Korrekte Entscheidungen „Choose A“ und „Avoid B“

Dargestellt ist der prozentuale Anteil korrekter Entscheidungen („Choose A“) bzw. Vermeidungen („Avoid B“) für die Konsolidierungsbedingungen Schlaf und Wach zu den zwei Messzeitpunkten T0 und T1 (vor und nach der Konsolidierungsphase)

Bei den Symbolen, für die aufgrund ihrer positiven Verstärkung eine Auswahlpräferenz entwickelt wird („Choose A“, „bevorzuge das belohnte Symbol“), konnte weder ein Effekt der Tageskonsolidierung noch ein Effekt der schlafgebundenen Konsolidierung gezeigt werden (siehe Abb. 17). Eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Zeit und der Gruppe als Zwischengruppenfaktor zeigt weder für die Faktoren Zeit ($F=0,939$; $p=0,340$) und Gruppe ($F=0,058$; $p=0,811$) noch deren Interaktion Zeit x Gruppe ($F=0,090$; $p=0,766$) signifikante Effekte.

Weder bei den Probanden der Schlaf- noch denen der Wachbedingung steigt der Anteil korrekt getroffener Entscheidungen nach der Konsolidierung an (Abb. 17), wie T-Tests für abhängige Stichproben getrennt für Wach- und Schlafbedingung zeigen (Wach: $t_{15}=0,721$, $p=0,482$; Schlaf: $t_{15}=0,703$; $p=0,493$).

Bei Symbolen, für die aufgrund ihrer negativen Verstärkung ein Vermeidungsverhalten entwickelt wird („Avoid B“, „vermeide das bestrafte Symbol“) zeigt sich hingegen eine gegenseitige Entwicklung der beiden Gruppen (zu erkennen in Abb. 17). Während die Probanden der Schlafbedingung nach der Konsolidierung häufiger die richtige Entscheidung treffen, ver-

ringert sich dieser Anteil bei den Probanden der Wachbedingung. Dies lässt sich statistisch belegen. Eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor „Zeit“ (T0, T1) sowie dem Zwischengruppenfaktor „Gruppe“ (Schlaf, Wach) zeigt eine signifikante Interaktion von Zeit x Gruppe: $F(1,30)=7,246$ $p=0,012$. Die Faktoren Zeit ($F=0,001$; $p=0,981$) und Gruppe ($F=0,049$; $p=0,827$) zeigen hingegen keine signifikanten Effekte.

Um den Effekt der Konsolidierung für die Wach- und Schlafbedingung zu analysieren wurde die Differenz der prozentualen Anteile richtig getroffener Entscheidungen zwischen T0 und T1 berechnet. Abb. 18 zeigt, dass die Probanden der Schlafbedingung den Anteil „B“ in korrekter Weise zu vermeiden steigern, während dies bei den Probanden der Wachbedingung nicht der Fall ist und es zu einem Verlust kommt. Ein T-Test für unabhängige Stichproben zeigt, dass dieser Unterschied signifikant ist ($t_{30}=2,692$; $p=0,012$). Bei den Entscheidungen für erlerntes Bevorzugungsverhalten („Choose A“) kommt es sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachgruppe zu einer Verringerung des Anteils korrekt getroffener Entscheidungen. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($t_{30}=0,300$; $p=0,766$).

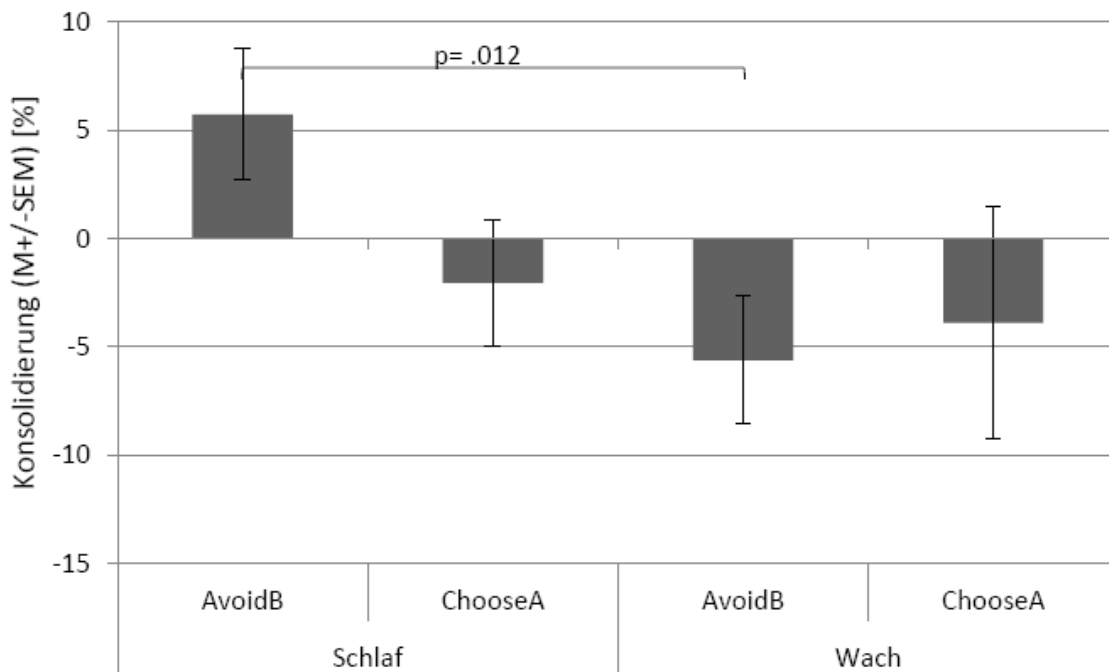


Abb. 18: Konsolidierung „Choose A“ und „Avoid B“

Als Konsolidierung ist hier die Differenz der prozentualen Anteile korrekter Entscheidungen zwischen T0 und T1 dargestellt. In der Schlafbedingung wird ein Zuwachs korrekt vermiedener B-Entscheidungen deutlich, der sich signifikant von der Wachbedingung unterscheidet

3.1.6 Reaktionszeiten des erlernten Bevorzugungs- bzw. Vermeidungsverhaltens

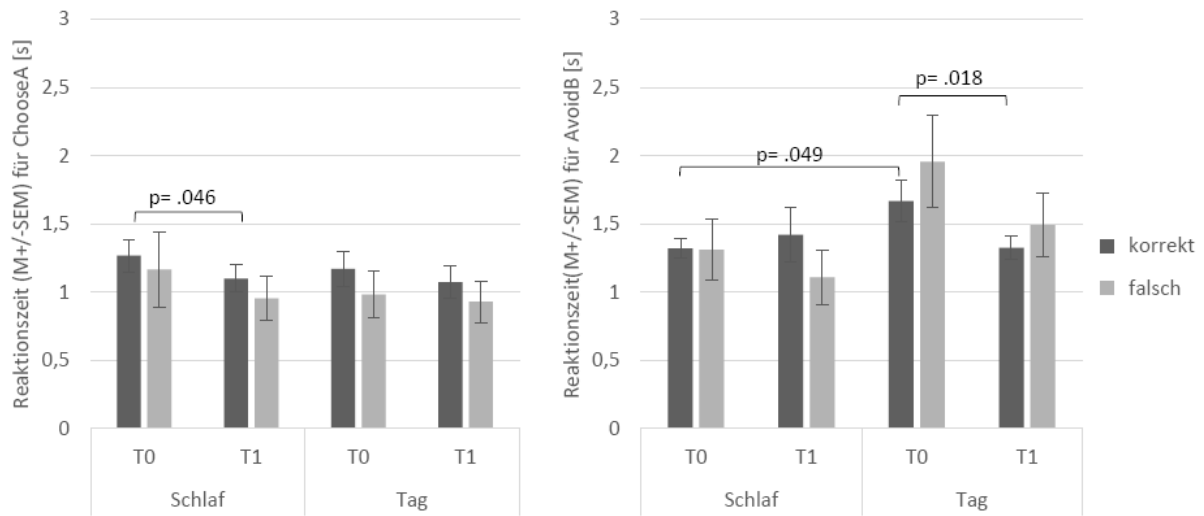


Abb. 19: Reaktionszeiten „Choose A“ und „Avoid B“

Mittlere Reaktionszeiten für korrekte und falsche Entscheidungen der Strategieoptionen „Choose A“ und „Avoid B“ in Schlaf- und Wachbedingung zu den Zeitpunkten T0 und T1.

In Abb. 19 sind die mittleren Reaktionszeiten für „Choose A“ (linke Seite) und „Avoid B“, (rechte Seite) für richtige und falsche Entscheidungen und aufgeteilt auf die beiden Gruppen dargestellt. Betrachtet man zunächst die Reaktionszeiten für „Choose A“ so ist zu sehen, dass die größten Veränderungen in der Schlafgruppe auftreten. Dort verringert sich sowohl die Geschwindigkeit in der richtige als auch falsche Entscheidungen getroffen werden. In der Wachgruppe hingegen sind kaum Veränderungen sichtbar.

Diese unterschiedliche Entwicklung von T0 zu T1 für die beiden Gruppen ist statistisch belegbar. Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Zeit“ (T0, T1) und „Entscheidung“ (korrekt, falsch) sowie dem Zwischengruppenfaktor „Gruppe“ (Schlaf, Wach) zeigt eine signifikante Interaktion der Faktoren Zeit x Entscheidung x Gruppe $F(2,2,1)=5,813$; $p=0,025$. Für die Faktoren Zeit, Entscheidung und Gruppe zeigen sich ebenso wie für alle weiteren Interaktionen keine signifikanten Effekte ($F<4$; $p>0,06$). Post-hoc T-Tests für abhängige Stichproben getrennt für den Fall Schlaf und Wach zeigen, dass im Vergleich von T0 zu T1 die Probanden der Schlafbedingung die korrekte Entscheidung für „A“ nach der Konsolidierung in signifikant kürzerer Zeit treffen ($t_{15}=2,178$; $p=0,046$; siehe Abb. 19. Die Reaktionszeiten bei korrekten Entscheidungen der Probanden der Wachbedingung verändern sich nicht signifikant ($t_{15}=0,729$; $p=0,477$). Die Reaktionszeiten bei falschen Entscheidungen verändern sich weder in der Schlaf- ($t_{10}=-0,799$; $p=0,443$) noch in der Wachbedingung signifikant ($t_{12}=0,750$; $p=0,468$).

Für den Fall der Reaktionszeiten für „Avoid B“ zeigt eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren „Zeit“ (T0, T1) und „Entscheidung“ (korrekt, falsch) sowie dem Zwischengruppenfaktor „Gruppe“ (Schlaf, Wach) keine signifikante Effekte für einzelne Faktoren oder deren Interaktionen ($F < 4$; $p > 0,06$). In Abb. 19 ist rechts jedoch zu erkennen, dass die Wachgruppe bereits vor der Konsolidierung länger braucht um die korrekte Entscheidung zu treffen. Ein T-Test für unabhängige Stichproben belegt dies ($t_{30} = -2,054$; $p = 0,049$).

Die Veränderung der Reaktionszeiten von T0 zu T1 ist bei den Probanden der Schlafbedingung weder für korrekte noch für falsche Entscheidungen signifikant ($p > 0,45$ für alle Vergleiche). Die Probanden der Wachbedingung hingegen treffen die Entscheidung „B“ in korrekter Weise zu vermeiden nach der Konsolidierung in signifikant kürzerer Zeit als vorher ($t_{15} = 2,652$; $p = 0,018$) wie Abb. 19 zeigt. Die Reaktionszeiten bei falschen Entscheidungen verändern sich auch in der Wachbedingung nicht signifikant ($t_{12} = 1,160$; $p = 0,269$).

3.1.7 Schlaf und subjektive Skalen für die Gruppen des PST

Im folgenden Abschnitt werden die Skalen und Schlafdaten dargestellt und die Probanden der PST Studie in dieser Hinsicht miteinander verglichen.

3.1.7.1 Aktiviertheit der Probanden nach SSS und EWL

Die gemittelten Werte der Stanford Sleepiness Scale (Tabelle 4) zeigen, dass die Aktiviertheit der Probanden vergleichbar war. Der Wert des Scores ist eine Zahl von 1 („Fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach“) bis 7 („Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken“). Der Mann-Whitney-U-Test zeigt für die beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede (zum Zeitpunkt des Lernens: $U = 129,5$, $p = 0,278$; zum Zeitpunkt des Abrufs: $U = 157,5$; $p = 0,890$).

Tabelle 4: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach SSS

Gruppenvariable	SSS Lernen	SSS Abruf
PST Tag	3,12	2,53
PST Nacht	2,79	2,26

In der Wortliste zur Aktivitätsbeurteilung (EWL-N) konnte zwischen den zwei Gruppen, bis auf die Subskala Erregtheit (J; $U = 90$, $p = 0,041$), kein signifikanter Unterschied zum Zeitpunkt des Lernens gefunden werden (Mann-Whitney-U-Test $p > 0,14$ für alle Vergleiche beim Ler-

nen). Die Anzahl an Items, die die Probanden pro Bereich ausgewählt haben, ist in den folgenden Tabellen abzulesen.

Tabelle 5: Mittelwerte der Items der Eigenschaftswörterliste zum Zeitpunkt des Lernens

	EWL_N Lernen A	EWL_N Lernen B	EWL_N Lernen C	EWL_N Lernen D	EWL_N Lernen E	EWL_N Lernen I	EWL_N Lernen J	EWL_N Lernen O
PST Tag	8,82	3,53	4,47	2,77	1,75	7,35	2,81	3,41
PST Nacht	7,05	4	3,37	1,84	1,26	7,58	0,95	2,53

A: Aktiviertheit (19 Items), B: Konzentriertheit (6 Items), C: Desaktiviertheit (16 Items), D: Müdigkeit (7 Items), E: Benommenheit (9 Items), I: Gehobene Stimmung (16 Items), J: Erregtheit (15 Items), O: Verträumtheit (10 Items)

Zusätzlich zu dem bereits beim Lernen aufgetretenen signifikanten Unterschiedes in der Auswahl der Items des Bereiches Erregtheit (J; U=94, p=0,033) gibt es beim Abruf noch einen Unterschied im Sinne eines Trends im Bereich Müdigkeit (D; U=104, p=0,071) zwischen den beiden Gruppen. Die Wachgruppe wählt mehr Items des Bereiches Müdigkeit als die Schlafgruppe. Für alle anderen Aktivitätsgrade ist kein signifikanter Unterschied feststellbar (p>0,25 für alle Vergleiche während des Abrufs). Eine Korrektur für multiples Testen führt dazu, dass alle hier gezeigten Signifikanzen und Trends verworfen werden müssten.

Tabelle 6: Mittelwerte der Items der Eigenschaftswörterliste zum Zeitpunkt des Abrufs

	EWL_N Abruf A	EWL_N Abruf B	EWL_N Abruf C	EWL_N Abruf D	EWL_N Abruf E	EWL_N Abruf I	EWL_N Abruf J	EWL_N Abruf O
PST Tag	8,71	3,18	2,82	2,41	0,94	8,47	1,47	1,53
PST Nacht	8,21	4	2,58	0,95	0,53	8,16	0,16	1,63

A: Aktiviertheit (19 Items), B: Konzentriertheit (6 Items), C: Desaktiviertheit (16 Items), D: Müdigkeit (7 Items), E: Benommenheit (9 Items), I: Gehobene Stimmung (16 Items), J: Erregtheit (15 Items), O: Verträumtheit (10 Items)

3.1.7.2 Vergleich des Schlafverhaltens anhand des PSQI

Das Schlafverhalten der beiden Gruppen unterscheidet sich nicht signifikant, wie ein Vergleich der Daten des PSQI zeigt (U=114, p=0,13). Auch bezüglich des Schlafverhaltens gibt es also keinerlei Unterschiede zwischen den zwei Gruppen. Tabelle 7 zeigt die mittleren Werte der beiden Gruppen.

Tabelle 7: Mittelwerte des PSQI der PST Gruppen

	PST Tag	PST Nacht
PSQI	6,12	4,18

3.1.7.3 Vergleich der Schlafdaten des PST

Betrachtet man die aufgezeichneten Schlafparameter der Schlafgruppe, so zeigen sich keine eindeutigen Korrelationen zu einem bestimmten Schlafstadium. Es zeigt sich für die Konsolidierung des erlernten Vermeidungsverhalten („Avoid B“) eine positive Korrelation sowohl mit der absoluten im Stadium 3 verbrachten Zeit ($r=0,562$; $p=0,024$) als auch ein statistischer Trend mit dessen Anteil an der Gesamtschlafzeit ($r=0,480$ $p=0,060$). Auch für die Reaktionszeiten bei falschen Entscheidungen zeigt sich eine positive Korrelation zur Zeitspanne, die im Schlafstadium 3 verbracht wurde ($r=0,671$; $p=0,012$) und auch zu deren Anteil an der Gesamtschlafzeit ($r=0,635$; $p=0,020$). Für das erlernte Bevorzugungsverhalten („Choose A“) zeigt sich lediglich ein Trend für eine negative Korrelation zwischen dem Anteil des Schlafstadiums 2 und der richtigen Entscheidung zum Zeitpunkt T2 ($r=-0,498$; $p=0,050$).

Sowohl für den Anteil korrekter „LowConflict“ Entscheidungen als auch für die Konsolidierung des Verhaltens in geringer Konfliktsituation zeigen sich keine signifikanten Korrelationen zu einem bestimmten Schlafstadium. Bei den Reaktionszeiten bei falschen Entscheidungen zum Zeitpunkt T2 zeigt sich eine positive Korrelation mit dem Schlafstadium 2 ($r=0,655$; $p=0,021$) sowie eine negative Korrelation mit der Zeit die im Tiefschlaf (SWS; Stadium 3&4) verbracht wurde ($r=-0,578$; $p=0,049$). Während es für den Anteil korrekt getroffener „HighConflict“ Entscheidungen keine signifikanten Korrelationen gibt, korreliert die Konsolidierung von „HighConflict“ Entscheidungen negativ mit dem Anteil der im Schlafstadium 4 verbrachten Zeit ($r=-0,546$; $p=0,028$). Bei den Reaktionszeiten der „HighConflict“ Entscheidungen gibt es keine eindeutigen Relationen zu einem bestimmten Schlafstadium. Betrachtet man die Konsolidierung der „HighConflict“ Entscheidungen getrennt nach „LooseLoose“ oder „WinWin“ Situationen, so zeigt sich eine negative Korrelation zwischen dem Anteil des REM-Schlafes und der Konsolidierung in „WinWin“ Situationen ($r=-0,507$; $p=0,045$). Bei den Reaktionszeiten für falsch getroffene Entscheidungen in Loose Situationen zum Zeitpunkt T2 zeigt sich eine positive Korrelation mit dem Anteil des Schlafstadiums 2 ($r=0,523$; $p=0,038$). Hingegen zeigt sich bei den Reaktionszeiten der richtig getroffenen Entscheidungen zum Zeitpunkt T1 in „WinWin“ Situationen eine positive Korrelation mit dem Anteil des

Schlafstadiums 2 ($r=0,523$; $p=0,038$) und eine negative im Sinn eines Trends mit dem Stadium 4 ($r=-0,474$; $p=0,055$). Eine Übersicht über die einzelnen Schlafparameter gibt Tabelle 8.

Tabelle 8: Schlafdaten Experimentalnacht PST

Variable	Schlafgruppe PST
Gesamtschlafzeit (min)	432,74 +/- 51,18
Schlafeffizienz (%)	90,27 +/- 4,62
Schlaflatenz Stadium 1 (min)	19,14 +/- 20,54
REM-Latenz (min)	114,28 +/- 45,3
Wachzeit (min)	43,3 +/- 21,59
REM Schlaf (min)	61,64 +/- 22,36
Stadium 1 (min)	57,64 +/- 29,22
Stadium 2 (min)	218,19 +/- 44,44
Stadium 3 (min)	42,06 +/- 14,81
Stadium 4 (min)	54,42 +/- 19,96
SWS (min)	96,47 +/- 16,85
REM (%)	14,04 +/- 4,36
Stadium 1 (%)	13,49 +/- 6,73
Stadium 2 (%)	50,15 +/- 6,58
Stadium 3 (%)	10,03 +/- 4,41
Stadium 4 (%)	12,57 +/- 4,58
Tiefschlaf (SWS (%))	22,6 +/- 4,56

3.2 Artificial „Grammar“ Learning

3.2.1 Probandenkollektiv

An der Studie zum AGL nahmen 40 Probanden im Alter von 18 bis 28 Jahren teil. Das mittlere Alter betrug 24 Jahre (Standardabweichung (SD) 2 Jahre). Alle Teilnehmer waren gesund und ohne neurologische oder psychiatrische Vorerkrankungen. Tabelle 9 zeigt die gemittelten Werte der beiden Gruppen in Bezug auf das Alter. Im statistischen Gruppenvergleich zeigt sich ein Unterschied zwischen den Gruppen in Form eines statistischen Trends in Bezug auf das mittlere Alter ($T=2,024$, $p=0,05$, siehe Tabelle 9

Tabelle 9: Mittleres Alter der beiden Gruppen des AGL

	Schlaf	Wach	T	p-Wert
Probandenanzahl	n=20	n=20		
mittleres Alter	24,75 +/- 1,88	23,45 +/- 2,17	2,024	0,05

3.2.2 Lernen

Während des ersten Lerndurchlaufes vor der Konsolidierungsphase zeigten sich weder in der Anzahl falsch eingetippter Strings ($F=1,242$, $p=0,272$) noch in der durchschnittlich für das Eingeben der Strings benötigten Zeit ($F=3,056$, $p=0,089$) Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Auch während der zweiten Lernphase zeigten sich in Bezug auf Fehlerzahl ($F=0,526$, $p=0,473$) und Zeit ($F=0,027$, $p=0,870$) keine Unterschiede. Eine ANOVA mit dem messwiederholten Faktor Zeitpunkt und der Gruppierungsvariablen Gruppe zeigt für die Fehleranzahl keine signifikanten Effekte für den Faktor Gruppe ($F=0,762$, $p=0,388$) sowie die Interaktion Zeitpunkt x Gruppe ($F=0,358$, $p=0,553$) aber der Faktor Zeitpunkt ist signifikant ($F=107,965$, $p<0,0001$). Bezüglich der Fehlerzahl verbessern sich also beide Gruppen gleichsinnig. Für die benötigte Zeit sind sowohl der Faktor Zeitpunkt ($F=64,344$, $p<0,001$) als auch die Interaktion Zeitpunkt x Gruppe ($F=8,929$, $p=0,005$) signifikant. Da die Wachgruppe (7,89s +/- 2,04) während des ersten Lerndurchlaufes etwas länger benötigt als die Schlafgruppe (6,83s +/- 1,82) fällt die Verbesserung in der Wachgruppe etwas stärker aus (Tag Lernen2: 5,77s +/- 1,36; Nacht Lernen 2 5,86s +/- 1,82). Der Haupteffekt Gruppe ist auch für die benötigte Zeit nicht signifikant ($F=0,867$, $p=0,358$). Bezüglich der Lernleistung sind die zwei Gruppen also vergleichbar.

3.2.3. Analyse des Klassifikationsverhaltens

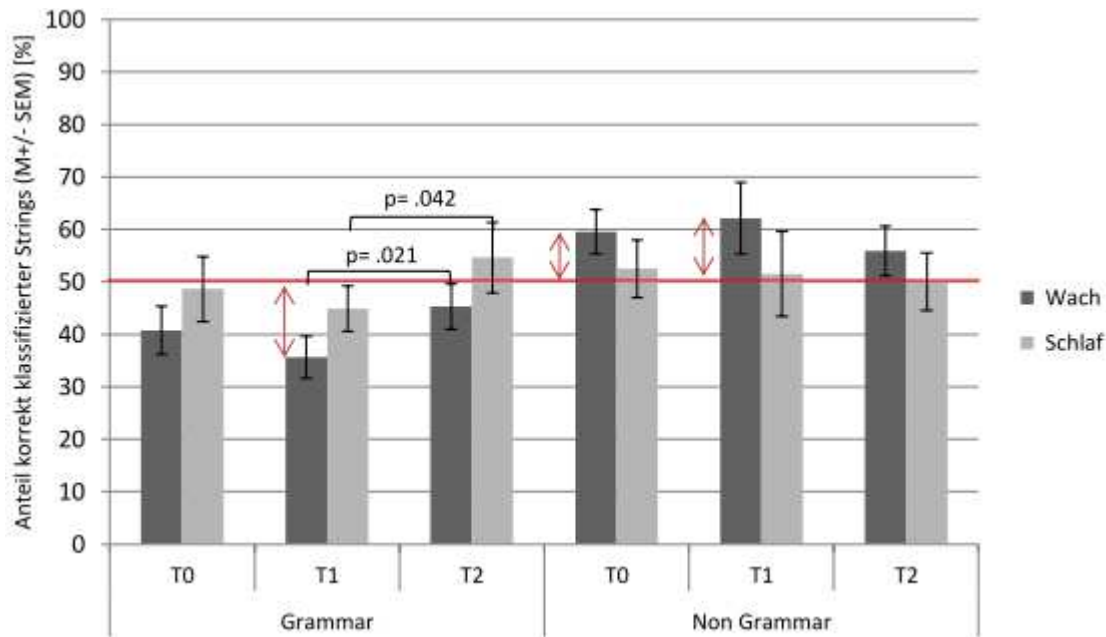


Abb. 20: Anteil korrekt klassifizierter Strings

Prozentualer Anteil korrekt klassifizierter Strings zu den 3 Zeitpunkten (T0= nach 1.Lernen; T1= nach Konsolidierung; T2= nach 2.Lernen) für beide Stringarten („Grammar“, „NonGrammar“) und beide Gruppen (Wach, Schlaf). Die rote Linie markiert die „50%“ Grenze

Abb. 20 zeigt den Anteil der korrekt klassifizierten Strings in beiden Gruppen zu den jeweiligen Zeitpunkten aufgeteilt in grammatikalische („Grammar“) und nicht-grammatikalische („NonGrammar“) Strings. Zu erkennen ist, dass es bei den „Grammar“ Strings in beiden Gruppen eine Verbesserung der in der Klassifikation von T1 zu T2 gibt, während der Anteil der korrekt klassifizierten „NonGrammar“ Strings in beiden Gruppen zwischen den drei Zeitpunkten kaum schwankt. Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Zeit (T0, T1, T2) und Stringart („Grammar“, „NonGrammar“) sowie dem Zwischengruppenfaktor Gruppe (Schlaf, Wach) belegt dies durch einen signifikanten Interaktionseffekt von Zeit x Stringart $F(2,37)=3,682$; $p=0,035$. Alle anderen Interaktionen und Faktoren zeigen keine signifikanten Effekte ($p > 0,09$). Sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachbedingung kommt es zu einem signifikanten Anstieg im Anteil korrekt klassifizierter „Grammar“ Strings im Intervall nach erneutem Lernen (T1 zu T2, siehe Abb. 20) wie T-Tests für abhängige Stichproben belegen (Wach: $t_{19} = -2,512$, $p=0,021$; Schlaf: $t_{19} = -2,177$; $p=0,042$). Weder in der Wach- noch in der Schlafbedingung kommt es zwischen den drei Zeitpunkten zu einem signifikanten Anstieg der korrekt klassifizierten „NonGrammar“ Strings ($p > 0,14$ für alle Vergleiche). T-Tests für unabhängige Stichproben zeigen außerdem keinen signifikanten Unterschied im Anteil korrekt klassifizierter „Grammar“- und „NonGrammar“ Strings zwischen den beiden Gruppen, egal welchen Zeitpunkt man betrachtet ($p > 0,13$ für alle Vergleiche).

Betrachtet man den prozentualen Anteil korrekt klassifizierter Strings so fällt auf, dass dieser Anteil sowohl bei den „Grammar“ als auch den „NonGrammar“ Strings um die 50% liegt (in Abb. 20 dargestellt durch die horizontale Linie. Bei der Analyse des Klassifikationsergebnisses zeigte sich außerdem, dass es einige Probanden gab, die bei den „Grammar“ Strings besonders oft richtig lagen, jedoch bei den „NonGrammar“ Strings fast immer falsch oder umgekehrt. Dies ist dann der Fall, wenn sich die Probanden für ein bestimmtes Antwortverhalten entschieden haben, im Sinne von immer „Ja zu sagen“ bzw. immer „Nein zu sagen“. In diesem Fall sollte zumindest die Hälfte aller Strings korrekt klassifiziert sein und der Anteil klassifizierter Strings nicht signifikant von 50% verschieden sein. Ein Einstichproben t-Test ($H_0: \mu=50\%$; $H_1: \mu<50\%/ \mu>50\%$) zeigt, dass mit Ausnahme (Doppelfeile in Abb. 20) des Anteils von „Grammar“ Strings zu T1 ($t_{19}=-3,320$; $p=0,004$) sowie „NonGrammar“ Strings zu T0 ($t_{19}=2,355$; $p=0,029$) und T1 ($t_{19}=2,871$; $p=0,010$) in der Wachbedingung, alle anderen Klassifikationsergebnisse im Bereich dieser 50% liegen. Generell kann anhand der Klassifikationsergebnisse gesehen werden, dass es einen Großteil an Probanden gab, die sich unabhängig von Grammatikalität oder Ähnlichkeit eher zum „Ja-Sagen“ bzw. vorrangig zum „Nein-Sagen“ entschieden haben. „Ja-Sager“ Probanden können definiert werden als Probanden, die im korrekten Klassifizieren von „Grammar“ Strings besonders gut abschneiden und dagegen schlecht im Klassifizieren der „NonGrammar“ Strings sind. Hingegen sind „Nein-Sager“ Probanden im korrekten Klassifizieren von „NonGrammar“ Strings gut, aber schlecht im Klassifizieren der „Grammar“ Strings.

Um die Verzerrung der Ergebnisse durch den Ja/Nein-Bias besser darzustellen wurden die Probanden beider Gruppen in gute und schlechte Klassifizierer aufgeteilt. „Gute Klassifizierer“ sind jene, die gleich oder mehr als 50% der Strings korrekt eingeschätzt haben. Bei weniger als 50% korrekter Strings handelt es sich um „schlechte Klassifizierer“. Um das Phänomen darzustellen wurde als Beispiel der Zeitpunkt T2 ausgewählt. In Abb. 21 ist der prozentuale Anteil der korrekt als „Grammar“ klassifizierten Strings im Diagramm dargestellt, aufgeteilt für Schlaf- und Wachbedingung und entsprechend der oben erläuterten Aufteilung in gute und schlechter Klassifizierer für den Zeitpunkt T2 nach erneutem Lernen. Betrachtet man als Beispiel die Probanden 21, 23, 24, 28, 29, 31, 32, 34, 37, 38 und 39 der Schlafgruppe, so zeigt sich, dass diese mehr als 70% der „Grammar“ Strings korrekt als solche beurteilt haben. Sollten sie jedoch überwiegend mit JA geantwortet haben, dann sollte sich dies auch im Ergebnis der „NonGrammar“ Strings zeigen. Jene Probanden sollten also im Klassifizieren von „NonGrammar“ Strings falsch gelegen haben, also schlecht abgeschnitten haben. In Abb. 22 ist genau das zu sehen. Die Probanden 21, 23, 24, 29, 31, 32, 38 und 39 haben nun eher

schlecht abgeschnitten, da sie durch das überwiegende Ja-Sagen im Klassifizieren der „NonGrammar“ Strings überwiegend falsch lagen. Das lässt sich in ähnlicher Form auch für die Wachgruppe darstellen (siehe Abb. 21 und Abb. 22). Nun noch ein Beispiel für Probanden der Schlafgruppe mit Nein-Sage-Tendenz. Die Probanden 22, 25, 26, 27, 30, 33, 35, 36, und 40 haben sich eher für Nein-Antworten entschieden und daher beim Klassifizieren der „Grammar“ Strings eher schlecht abgeschnitten (siehe Abb. 21). Im Klassifizieren von „NonGrammar“ Strings gelten diese Probanden als gute Klassifizierer (Nr. 22, 25, 26, 27, 30, 33, 35, 36, und 40 siehe Abb. 22). Auch dies lässt sich ebenso für die Wachbedingung darstellen, wie Abb. 21 und Abb. 22 zeigen. In den Abbildungen wird zwar nur das Antwortverhalten für „Grammar“- bzw. „NonGrammar“ Strings zum Zeitpunkt T2 dargestellt, es lässt sich aber ebenso für die Zeitpunkte T0 und T1 sowie für die Variablen High/Low- ACS „Grammar“ und „NonGrammar“ Strings zeigen. Anhand der Klassifikationsergebnisse lässt sich daher eher etwas über das Antwortverhalten der Versuchspersonen aussagen, als darüber, ob sie Grammatikalität bzw. Ähnlichkeit gelernt haben.

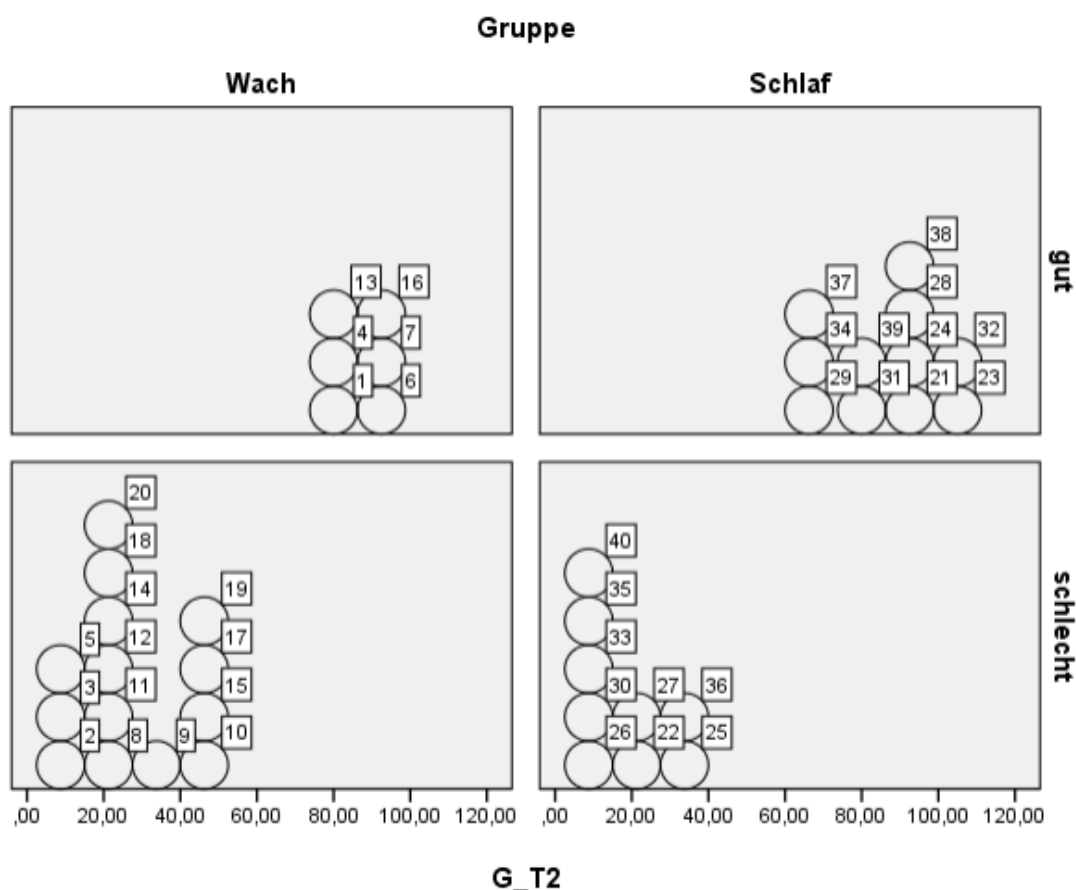


Abb. 21: Klassifikation „Grammar“ Strings Zeitpunkt T2

Dargestellt ist der prozentuale Anteil der korrekt als „Grammar“ klassifizierten Strings aufgeteilt für Schlaf- und Wachbedingung sowie in gute und schlechte Klassifizierer für den Zeitpunkt T2 nach erneutem Lernen.

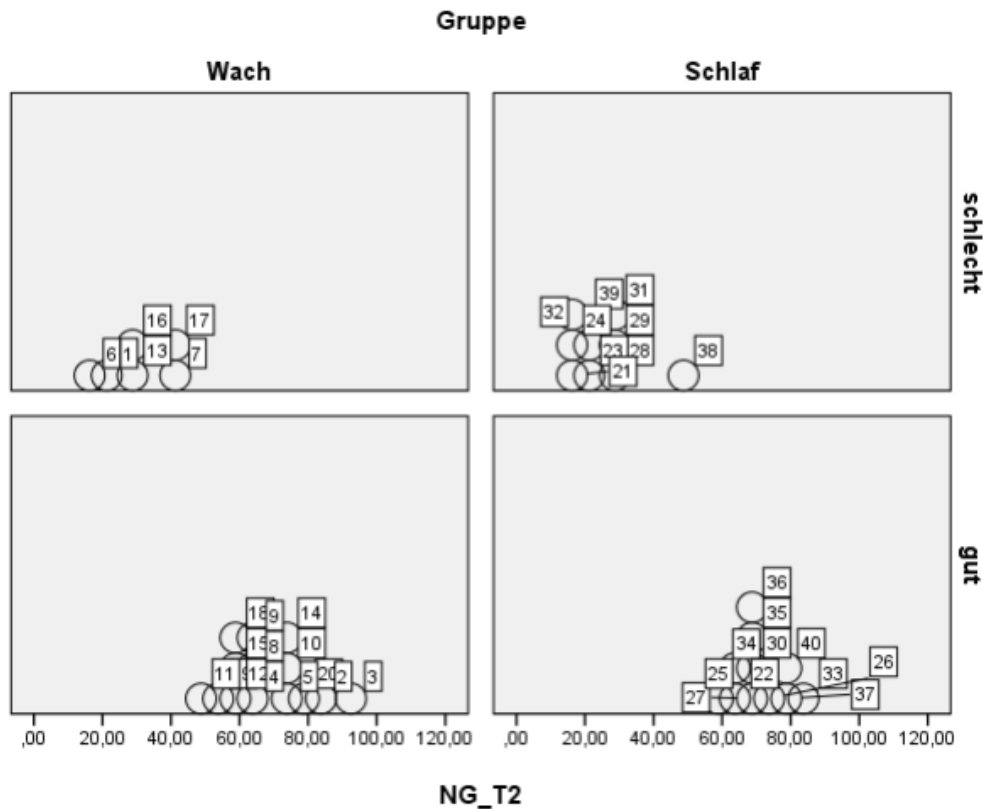


Abb. 22: Klassifikation „NonGrammar“ Strings Zeitpunkt T2

Dargestellt ist der prozentuale Anteil der korrekt als „NonGrammar“ klassifizierten Strings aufgeteilt für Schlaf- und Wachbedingung sowie in gute und schlechte Klassifizierer für den Zeitpunkt T2 nach erneutem Lernen.

3.2.4 Analyse der Probandenstrings

Im folgenden Abschnitt folgt die Analyse der von den Probanden selbst generierten Strings. Für die Auswertung wird die Anzahl richtig gewählter Triplets gewählt und nicht die Anzahl korrekter Strings. Zwischen einem richtigen und falschen String liegt nur ein Buchstabe, so dass die Anzahl richtiger Triplets mehr Aussage darüber erlaubt, inwiefern die Probanden etwas über die versteckte Regel gelernt haben. Anschließend folgt ein Vergleich der ACS Werte bezogen auf die Länge der selbstgenerierten Strings.

3.2.4.1 Anzahl richtig generierter Triplets

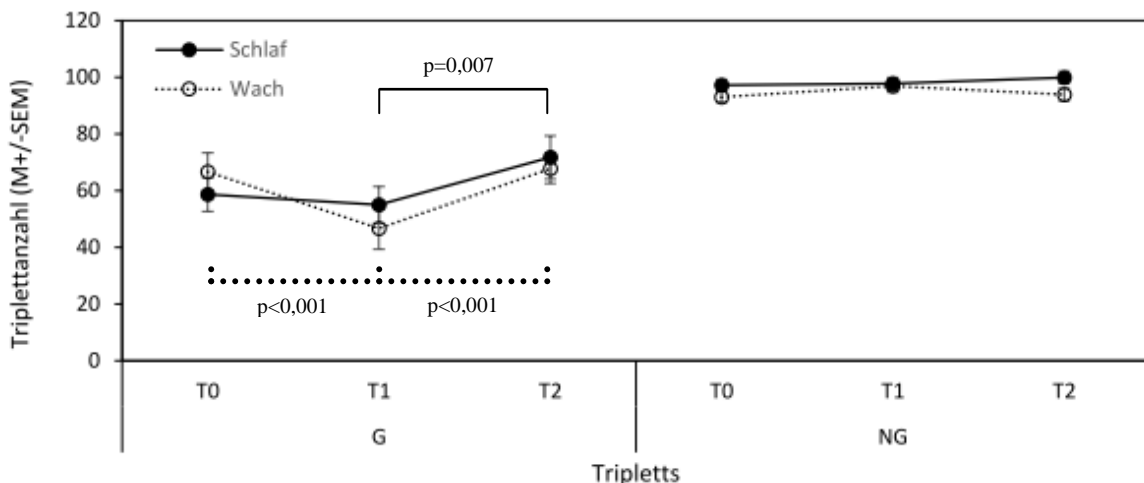


Abb. 23: Anzahl generierter Triplets

Dargestellt ist die mittlere Anzahl generierter Triplets zu den drei Messzeitpunkten für Schlaf- und Wachbedingung sowie beide Grammatikalitätsarten

Betrachtet man die mittlere Anzahl korrekt generierter Triplets zu den drei Messzeitpunkten bei den „Grammar“ Strings fällt sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachbedingung auf, dass es vom Zeitpunkt T1 zu T2 zu einem deutlichen Anstieg kommt (Abb. 23). Bei den „NonGrammar“ Strings verändert sich die Anzahl korrekt generierter Triplets zwischen den Zeitpunkten in beiden Gruppen kaum. Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Zeit (T0, T1, T2) und Grammatikalität („Grammar“, „NonGrammar“) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe (Schlaf, Wach) belegt dies durch signifikante Haupteffekte für die Faktoren Zeit ($F=10,916$, $p<0,001$) und Grammatikalität ($F=75,490$, $p<0,001$). Die Interaktionen Zeit x Grammatikalität ($F=0,003$; $p=0,001$) und Zeit x Grammatikalität x Gruppe ($F=6,520$; $p=0,004$) sind ebenfalls signifikant. Alle anderen Interaktionen und Faktoren zeigen keine signifikanten Effekte ($F<0,003$; $p>0,14$). Zwischen der Schlaf- und der Wachgruppe gibt es zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied in der Anzahl korrekt generierter Triplets wie ein T-Test für unabhängige Stichproben zeigt ($p>0,29$ für alle Vergleiche). Betrachtet man die Gruppen getrennt mit Hilfe von T-Tests für abhängige Stichproben, so zeigt sich in der Schlafgruppe zwischen T0 und T1 keine signifikante Steigerung in der Triplettanzahl ($t_{19}=0,878$; $p=0,391$). In Abb. 23 ist zu sehen, dass die Probanden der Schlafgruppe nach dem zweiten Lernen (T2) signifikant mehr „Grammar“ Triplets generieren als direkt nach der Konsolidierung (T1) ($t_{19}=-3,046$; $p=0,007$). In der Wachgruppe kommt es zunächst nach der Konsolidierung zu einem signifikanten Abfall der generierten „Grammar“ Triplets ($t_{19}=8,253$; $p<0,001$). Nach einem erneuten Lerndurchgang steigert aber auch diese Gruppe sich in der Anzahl generierter „Grammar“ Triplets signifikant ($t_{19}=-4,486$; $p=0,001$, siehe

ebenfalls Abb. 23). Während in der Schlafgruppe jedoch ein kontinuierlicher Anstieg von in der Anzahl korrekter Triplets zu erkennen ist, erreicht die Wachgruppe lediglich das bereits vor der Konsolidierung vorhandene Niveau. Wie in Abb. 23 dargestellt zeigen sich bei den „NonGrammar“ Triplets weder in der Schlaf- noch in der Wachgruppe signifikante Unterschiede zwischen den drei Zeitpunkten wie T-Tests für verbundene Stichproben belegen ($p > 0,06$ für alle Vergleiche). Auch zwischen den beiden Gruppen gibt es zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede in der Anzahl korrekt generierter „NonGrammar“ Triplets ($p > 0,06$ für alle Vergleiche).

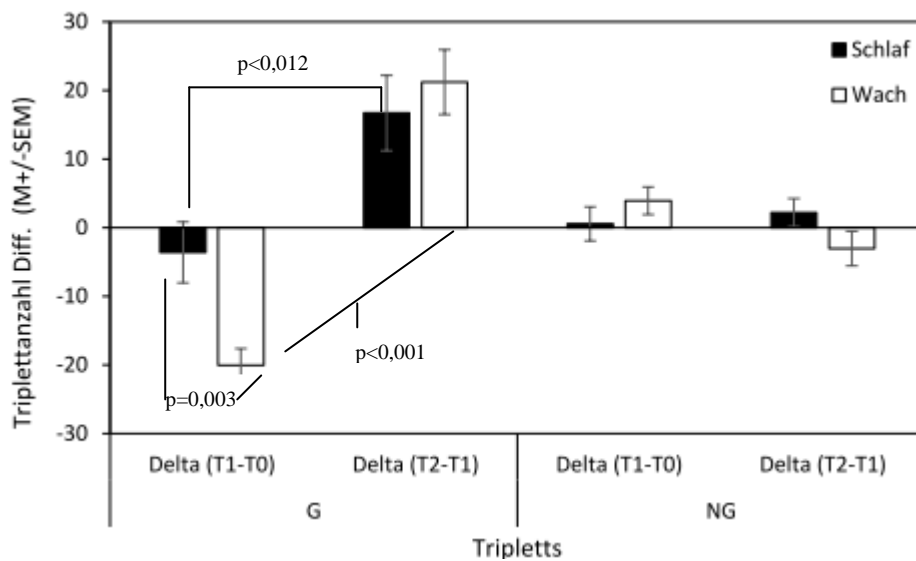


Abb. 24: Veränderung generierter Triplets

Dargestellt ist die Veränderung in der mittleren Anzahl generierter Triplets zwischen den Messzeitpunkten vor und nach dem ersten Lernen (Delta T1-T0) sowie zwischen der Konsolidierung und dem erneuten Lernen (Delta T2-T1) für beide Gruppen und Grammatikalitätsarten („Grammar“ (G), „NonGrammar“ (NG)).

Um die Veränderung in der Anzahl generierter Triplets vor und nach dem ersten Lernen darzustellen, berechnet man die Differenz zwischen T1 und T0 (Delta T1-T0). Für die Veränderung von T1 zu T2, also nach erneutem Lernen, verfährt man genauso (Delta T2-T1). In Abb. 24 sind diese für beide Gruppen graphisch dargestellt. Zu erkennen ist, dass sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachbedingung die Anzahl der „Grammar“ Triplets nach der Konsolidierung (Delta T1-T0) zunächst abnimmt. Zwischen T1 und T2 kommt es dann in beiden Gruppen zu einem Anstieg der richtig generierten „Grammar“ Triplets. Wie in Abb. 24 dargestellt, ist der Verlust in der Anzahl korrekt genutzter „Grammar“ Triplets von T0 zu T1 in der Wachgruppe jedoch signifikant größer als in der Schlafgruppe. Statistisch belegt dies ein T-Test für unabhängige Stichproben ($T=3,245$, $p=0,003$). Der im Anschluss an die Konsolidierung folgende Gewinn (Delta T2-T1) ist in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ($T=-0,622$; $p=0,538$). Der Anstieg in der Anzahl der „Grammar“ Triplets von T1 zu T2

ist in beiden Gruppen signifikant größer als der Verlust von T0 zu T1 (Schlaf: $t_{19}=-2,765$; $p=0,012$; Wach: $t_{19}=-7,485$; $p<0,001$, siehe auch Abb. 24). Von einer erneuten Lernphase profitieren offensichtlich beide Gruppen, aber die Schlafgruppe konnte das gelernte Wissen während der Konsolidierung im Schlaf besser stabilisieren als die Wachgruppe über Tag. Bei den „NonGrammar“ Triplets ist die Veränderung über die Zeit in beiden Gruppen minimal. Diesbezüglich gibt es zwischen beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Die Veränderung ist in beiden Gruppen außerdem von T0 zu T1 (Delta T1-T0) nicht signifikant größer oder geringer als von T1 zu T2 (Delta T2-T1) ($p>0,11$ für alle Vergleiche).

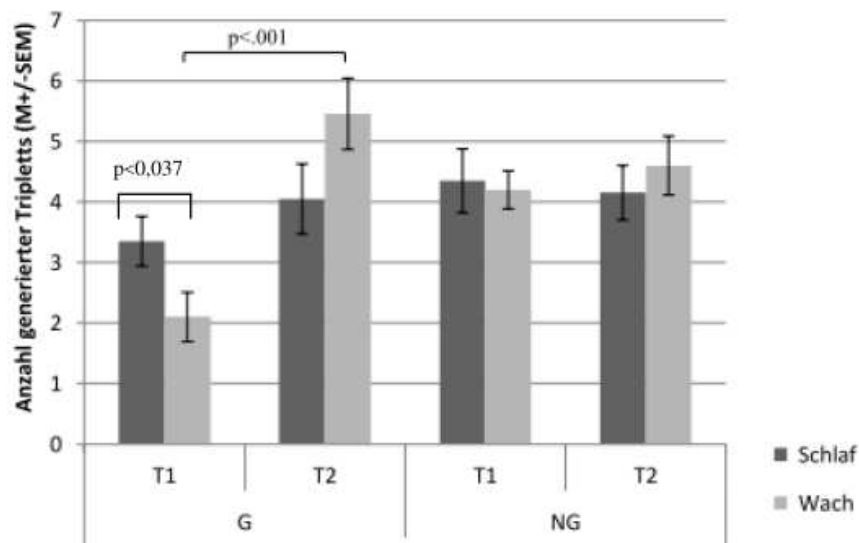


Abb. 25: Neu verwendete Triplets

Dargestellt ist die mittlere Anzahl neu verwendeter Triplets beim Generieren zu den zwei Messzeitpunkten (T1, T2) für beide Gruppen und beide Grammatikalitätsarten

Analysiert wurde außerdem, wie viele neue, das bedeutet im Vergleich zur vorherigen Generierungsrunde noch nicht benutzte Triplets, die Probanden zu den beiden Zeitpunkten T1 und T2 im Mittel verwendet haben. Bei den „NonGrammar“ Strings ist die Anzahl neu benutzter Triplets nach der Konsolidierung (T1) und nach dem 2. Lernen (T2) in Schlaf- und Wachgruppe nahezu unverändert (siehe Abb. 25). Bei den grammatikalischen Strings hingegen steigt die Anzahl neu verwendeter Triplets nach der 2. Lernphase in beiden Gruppen, jedoch besonders in der Wachgruppe deutlich an. Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Zeit (T1, T2) sowie Grammatikalität („Grammar“, „NonGrammar“) und dem Zwischengruppenfaktor Gruppe (Schlaf, Wach) zeigt einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Zeit ($F=9,523$; $p=0,004$). Auch die Interaktionen Zeit x Gruppe ($F=5,569$, $p=0,024$) und Zeit x Grammatikalität ($F=8,524$ $p=0,006$) sind signifikant. Alle anderen Faktoren und Interaktionen zeigen keine signifikanten Effekte ($F<0,009$; $p>0,12$). In Abb. 25 ist zu erkennen, dass Probanden der Schlafgruppe bereits nach der Konsolidierung signifikant mehr neue Triplets

verwenden als die Probanden der Wachgruppe wie ein T-Tests für unabhängige Stichproben zeigt ($t_{38}=-2,168$; $p=0,037$). Ansonsten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Wach- und Schlafbedingung ($p>0,096$ für alle Vergleiche). Wie ebenfalls in Abb. 25 zu erkennen nutzen die Probanden der Wachbedingung nach der erneuten Lernphase (T2) deutlich mehr neue Triplets als direkt nach der Konsolidierung (T1). Dieser Unterschied ist signifikant, wie ein T-Test für abhängige Stichproben belegt ($t_{19}=-5,030$, $p<0,001$). In der Schlafgruppe hingegen kommt es von T1 zu T2 zwar ebenfalls zu einer Steigerung der Anzahl neuer Triplets, diese ist jedoch nicht signifikant ($t_{19}=-0,960$; $p=0,349$). Bei den „NonGrammar“ Strings kommt es in keiner der beiden Gruppen zu einem Anstieg neu verwendeter Triplets im Vergleich von T1 zu T2 ($p>,45$ für alle Vergleiche).

3.2.4.2 Analyse Probandenstrings bezüglich der ACS Werte

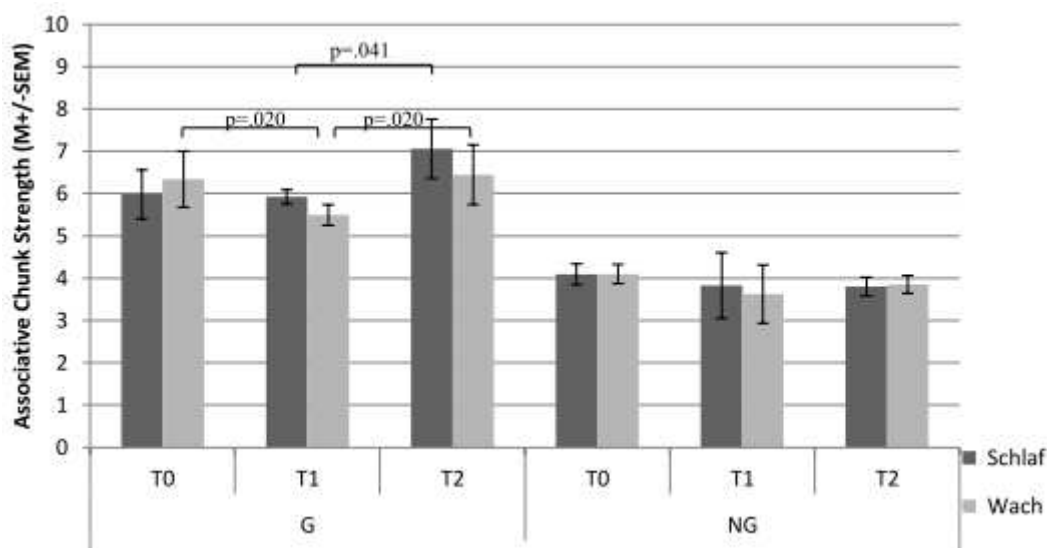


Abb. 26: Mittlere Werte der Associative Chunk Strength (ACS) bezogen auf die Länge

Dargestellt sind die mittleren Werte der Associative Chunk Strength (ACS) in Abhängigkeit von der Länge der generierten Strings zu allen drei Messzeitpunkten (T0,T1,T2), für beide Gruppen (Schlaf, Wach) und beide Grammatikalitätsarten („NonGrammar“ (NG), „Grammar“ (G))

In Abb. 26 sind die mittleren ACS Werte bezogen auf die Länge der generierten Strings graphisch dargestellt. Zu erkennen ist erstens, dass der ACS bei den „Grammar“ Strings zu allen drei Zeitpunkten höher ist, als bei den „NonGrammar“ Strings. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sowie zwischen den drei Messzeitpunkten gibt es für die „NonGrammar“ Strings nicht. Bei den „Grammar“ Strings hingegen zeigt sich eine Veränderung über die Zeit. Diese Beobachtungen sind statistisch belegbar mit Hilfe einer ANOVA mit den Innersubjekt-faktoren Zeit (T1, T2) sowie Grammatikalität („Grammar“, „NonGrammar“) und dem Zwi-

schengruppenfaktor Gruppe (Schlaf, Wach). Es zeigen sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren Zeit ($F=6,055$; $p=0,004$) und Grammatikalität ($F=20,940$, $p<0,001$) sowie ein signifikanter Interaktionseffekt Zeit x Grammatikalität ($F=3,808$; $p=0,027$). Alle anderen Faktoren und Interaktionen zeigen keine signifikanten Effekte ($F<0,04$; $p>0,25$). Der mittlere ACS verändert sich in der Schlafgruppe von T0 zu T1 kaum ($t_{19}=0,136$; $p=0,894$), steigt dann aber von T1 zu T2 signifikant an ($t_{19}=-2,197$; $p=0,041$). In der Wachgruppe hingegen kommt es zunächst zu einem signifikanten Abfall des ACS von T0 zu T1 ($t_{19}=2,532$; $p=0,020$) und anschließend nach erneutem Lernen von T1 zu T2 zu einem signifikanten Anstieg ($t_{19}=-2,538$; $p=0,020$). Zwischen Wach- und Schlafbedingung gibt es keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p>0,54$ für alle Vergleiche).

3.2.5 Schlaf und subjektive Skalen der Gruppen des AGL

Im folgenden Abschnitt werden die Skalen und Schlafdaten dargestellt und die Probanden der AGL Studie in dieser Hinsicht miteinander verglichen.

3.2.5.1 Aktiviertheit der Probanden nach SSS und EWL

Die gemittelten Werte der Stanford Sleepiness Scale (siehe Tabelle 10) zeigen, dass die Aktiviertheit der Probanden vergleichbar war. Der Wert des Scores ist eine Zahl von 1 („Fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach“) bis 7 („Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken“). Der Mann-Whitney-U-Test zeigt für die beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede (zum Zeitpunkt des Abrufs: $U=171,0$; $p=0,395$).

Tabelle 10: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach SSS

Gruppenvariable	SSS Abruf
Nacht	2,45
Tag	2,70

In der Wortliste zur Aktivitätsbeurteilung (EWL-N) konnte zwischen den zwei Gruppen kein signifikanter Unterschied zum Zeitpunkt des Abrufes gefunden werden (Mann-Whitney-U-Test $p>0,12$ für alle Vergleiche während des Abrufes). Die Anzahl an Items, die die Probanden pro Bereich ausgewählt haben, ist in der folgenden Tabelle abzulesen.

Tabelle 11: Mittelwerte der Aktivitätsgrade der Gruppen nach der EWL – Abruf AGL

	EWL_N Abruf A	EWL_N Abruf B	EWL_N Abruf C	EWL_N Abruf D	EWL_N Abruf E	EWL_N Abruf I	EWL_N Abruf J	EWL_N Abruf O
Nacht	8,10	3,95	3,90	1,95	0,85	7,05	2,25	2,5
Tag	7,8	3,65	4,55	3,05	1,25	7,70	2,10	1,90

A: Aktiviertheit (19 Items), B: Konzentriertheit (6 Items), C: Desaktiviertheit (16 Items), D: Müdigkeit (7 Items), E: Benommenheit (9 Items), I: Gehobene Stimmung (16 Items), J: Erregtheit (15 Items), O: Verträumtheit (10 Items)

3.2.5.2 Vergleich des Schlafverhaltens anhand des PSQI

Bezüglich des Schlafverhaltens gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Gruppen wie der Vergleich der Werte des PSQI zeigt (Mann-Whitney-U-Test: $U=182$ asymptotische Signifikanz= 0,622). In Tabelle 12 sind die Mittelwerte des PSQI für die einzelnen Gruppen dargestellt.

Tabelle 12: Mittelwerte des PSQI

	AGL Tag	AGL Nacht
PSQI	4,65	4,90

3.2.5.3 Vergleich der Schlafdaten

Betrachtet man zunächst die Klassifikationsperformance so zeigt sich bei den korrekt klassifizierten „Grammar“ Strings zu allen Zeitpunkten (T0, T1, T2) eine positive Korrelation sowohl zur in Minuten im Stadium 2 verbrachten Schlafzeit, als auch zu deren Anteil an der Gesamtschlafzeit ($p<0,02$ für alle Korrelationen). Bei den richtig klassifizierten „NonGrammar“ Strings zeigt sich eine negative Korrelation zum Anteil der in Stadium 2 verbrachten Zeit und der Performance zum Zeitpunkt T1 ($r=-0,541$, $p=0,014$). Eine positive Korrelation gibt es zwischen dem Anteil des Tiefschlafs (SWS) und der Performance zum Zeitpunkt T1 ($r=0,445$; $p=0,049$). Der Anteil korrekt klassifizierter „NonGrammar“ Strings nach erneuter Lernphase (T2) korreliert außerdem negativ mit der Gesamtschlafzeit ($r=-0,611$; $p=0,004$).

Um den Einfluss einzelner Schlafstadien auf die Konsolidierung oder Entstehung expliziter Kenntnisse zu analysieren interessiert vor allem die Veränderung (Delta T1-T0) in der Anzahl korrekt verwendeter Triplets im Vergleich von T0 (vor dem Schlaf) zu T1 (nach dem Schlaf) bei der Generierungsaufgabe. Hier zeigt sich eine negative Korrelation mit dem Anteil der im

Tiefschlaf verbrachten Zeit ($r=-0,479$; $p=0,033$). Alle anderen Schlafstadien zeigen keine signifikanten Korrelationen. Eine Übersicht über die Schlafparameter gibt Tabelle 13.

Tabelle 13: Schlafparameter AGL

Tabelle 13 stellt die Schlafparameter der AGL Probanden dar

Experimentalnacht	Nacht (n=20)
Gesamtschlafzeit (Min)	414,23 +/- 46,73
Schlafeffizienz in Prozent	90,28 +/- 5,96
Schlaflatenz Stadium 1 (Min)	8,88 +/- 5,99
REM-Latenz (Min)	109,58 +/- 61,53
Wachzeit (Min)	39,10 +/- 24,50
REM Schlaf (Min)	65,5 +/- 27,44
Stadium 1 (Min)	58,3 +/- 26,20
Stadium 2 (Min)	195,6 +/- 41,37
Stadium 3 (Min)	45,05 +/- 22,85
Stadium 4 (Min)	51,58 +/- 29,46
Tiefschlaf (SWS) (Min)	96,63 +/- 21,00
REM in Prozent	15,63 +/- 6,10
Stadium 1 (%)	14,33 +/- 7,03
Stadium 2 (%)	47,04 +/- 6,96
Stadium 3 (%)	10,92 +/- 5,86
Stadium 4 (%)	12,5 +/- 7,18
Tiefschlaf (SWS) (%)	23,42 +/- 4,79

3.3 Vergleich der Schlafdaten zwischen PST und AGL Gruppen

Vergleicht man die Probanden der PST Studie mit den Probanden der AGL Studie bezüglich der Schlafdaten, so zeigt sich lediglich ein signifikanter Unterschied in der Zeit bis die Probanden das Stadium 1 erreicht haben ($T=-2,139$, $p=0,039$). Die Probanden der AGL Studie benötigen im Durchschnitt 8,88 Minuten (+/- 5,99 Min.) bis zum Stadium 1 während die Probanden der PST Studie mit 19,14 Minuten (+/- 20,54 Min.) mehr als doppelt soviel Zeit benötigen bis sie dieses Stadium erreicht haben. Bei allen anderen Daten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

4 Diskussion

Die vorliegenden Studien belegen die Bedeutung des Schlafes für die Konsolidierung komplexer Informationen. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Informationen in einem neutralen Kontext (wie beim AGL) oder im Belohnungskontext (wie beim PST) gelernt wurden. Beim AGL zeigte sich, dass Schlaf die Konsolidierung expliziter Kenntnisse fördert im Gegensatz zu einem Intervall über Tag. Von einer Reexposition mit der Aufgabe profitieren sowohl die Wach- als auch die Schlafgruppe. Auch für das probabilistische Klassifikationslernen zeigten sich Vorteile der Probanden der Schlafgruppe. Vor allem Informationen, die mit Hilfe von negativem Feedback gelernt wurden und Paarungen, bei denen zwischen den Symbolen der größtmögliche Unterschied herrscht, profitierten von der Konsolidierung während des Schlafes.

4.1 Effekte des Schlafes auf die Performance beim PST

Die vorliegende Studie zeigt, dass vor allem durch negative Verstärkung gelerntes Vermeidungsverhalten Zugang zur schlafabhängigen Konsolidierung erhält, was sich an der gegenseitigen Entwicklung der Wach- und Schlafgruppe zeigte. Sowohl über Tag als auch über Nacht kam es hingegen zu keiner Veränderung des durch positive Verstärkung erlernten Präferenzverhaltens. Ähnliche Unterschiede zeigten sich, wenn man das Konfliktpotential, also die Unterschiede in der Häufigkeit mit der ein Symbol positives bzw. negatives Feedback nach sich zieht, der einzelnen Paarungen betrachtet. Es zeigte sich, dass vor allem Paarungen, bei denen die Differenzierung leichter fällt, von einer Nacht mit Schlaf profitierten. Systematische Effekte der Konsolidierung auf die Reaktionszeiten zeigen sich weder für unterschiedliche Konfliktsituationen noch für erlerntes Präferenz- oder Vermeidungsverhalten. Dies könnte an der großen Streuung der Reaktionszeiten liegen, so dass Konsolidierungseffekte in dieser Streuung „untergehen“.

Welche Gründe gibt es für die selektive Konsolidierung über Nacht? Betrachtet man die Ergebnisse direkt nach dem Lernen so fällt auf, dass positive Verstärkung schon vor der Konsolidierung zu besseren Ergebnissen führte als negative Verstärkung. Bei Entscheidungen mit großem Konfliktpotenzial, also geringerer Differenz zwischen den Symbolen, kam es zu schlechteren Ergebnissen als bei solchen mit geringem Konfliktpotenzial. Es fiel den Probanden schwerer, schlecht differenzierte Symbolpaarungen zu lernen. Dies führte schon nach dem Lernen zu einem deutlich besseren Ergebnis für geringe Konflikte. Im Gegensatz zu den hinsichtlich ihrer Verstärkung untersuchten Paarungen, wurden in diesem Fall aber die besser

gelernten Paarungen konsolidiert. Es gibt Studien, die Belege dafür gefunden haben, dass die Steigerung einer Leistung durch Schlaf von der Schwierigkeit der Lernaufgabe und dem Grad des Erkenntnisgewinns vor der Konsolidierung abhängt (Djonlagic, Rosenfeld, Shohamy et al. 2009; Kuriyama, Stickgold und Walker 2004). Je schwerer einem eine Aufgabe fällt, desto mehr beschäftigt man sich noch mit ihr, auch wenn sie eigentlich bereits beendet ist. Jeder Mensch hat wohl schon mal erlebt, dass nicht erledigte oder schwierige Aufgaben in den Träumen wieder auftauchen. Wamsley et al.(2010) fanden Hinweise darauf, dass Personen, die Schwierigkeiten mit einer Lernaufgabe hatten, öfter in Gedanken zu dem Problem zurückkamen, als solche, denen die Aufgabe leichter fiel. Die Personen, die sich in Gedanken mit dem Problem beschäftigten, verbesserten in einem zweiten Test ihre Leistung deutlich, sofern sie zwischen beiden Tests geschlafen hatten. Ein Teil unserer Ergebnisse, nämlich der für unterschiedlich verstärktes Verhalten, bestätigt diese Ergebnisse. Es muss aber noch andere Gründe geben, die darüber entscheiden, ob schlafabhängige Konsolidierung eine gelernte Information beeinflusst oder nicht, denn sonst würde man erwarten, dass es vor allem die schlecht differenzierten Symbolpaarungen sind, die von der Konsolidierung über Nacht profitieren.

Ein weiterer Faktor, der Einfluss darauf nimmt, ob ein Gedächtnisinhalt schlafabhängig konsolidiert wird, ist die Motivation. Diese kann darin begründet sein, dass Informationen in Zukunft noch mal benötigt werden (Wilhelm, Diekelmann, Molzow et al. 2011) oder eine emotionale Komponente enthalten (Payne, Stickgold, Swanberg et al. 2008). In der vorliegenden Studie wird das gelernte Vermeidungsverhalten eher konsolidiert als das Präferenzverhalten. Die Motivation, ein negatives Erlebnis zu vermeiden, scheint größer als ein positives zu wiederholen, da Bestrafung oder der Hinweis auf einen Fehler unangenehmer sind und länger im Gedächtnis bleiben als Lob und andere Belohnung. Die Ergebnisse der PST Studie passen zu den Ergebnissen anderer Studien, die zeigen konnten, dass Schlaf bei der Verarbeitung negativer Stimuli eine wichtige Rolle spielt. Yoo et al. (2007) konnten anhand einer fMRT Studie zeigen, dass Schlafentzug zu Veränderungen in der Verarbeitung vor allem negativer Stimuli führt. Bei Probanden, die nicht geschlafen hatten war die Kommunikation zwischen Amygdala und dem prefrontalen Kortex besonders für Stimuli gestört, die negative emotionale Reaktionen hervorriefen. Stattdessen ließ sich eine verstärkte Aktivität in autonomen Zentren des Hirnstammes nachweisen. Dies könnte auf einen Kontrollverlust bei der Verarbeitung emotional negativer Ereignisse hindeuten. Möglicherweise gibt es einen Zusammenhang zwischen der fehlenden oder fehlerhaften Verarbeitung emotional negativer Erlebnisse im Schlaf und der Entwicklung einer posttraumatischen Belastungsstörung. Fan et al.(2016) konnten einen

Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Schlafstörung und dem späteren Auftreten einer posttraumatischen Belastungsstörung bei Opfern des Wenchuan Erdbebens im Jahre 2008 nachweisen.

Was ist aber der Grund für die selektive Konsolidierung der Symbolpaarungen, die sich stark von einander unterscheiden? Das Feedback kann hier nicht den Ausschlag gegeben haben, denn bei den verschiedenen Konfliktsituationen sind die acht Paare, die für die Analyse des Feedbacks gebildet wurden, gleichmäßig auf die verschiedenen Konflikte verteilt. Bei den großen Konfliktsituationen sind die Symbole einander sehr ähnlich, es sticht also kein Symbol merklich hervor, im Gegensatz zu den geringen Konfliktsituationen. Ein ähnliches Phänomen wie in dieser Studie beobachteten Ellenbogen et al. (2007). Aus einer Hierarchie von Buchstaben, wurden vor allem diejenigen schlafabhängig konsolidiert, die in der Hierarchie am weitesten voneinander entfernt lagen. Offensichtlich hat das Gehirn Strategien entwickelt, um sich vor einer Datenüberflutung zu schützen. Die Gemeinsamkeit all dieser Faktoren, die zu einer bevorzugten Konsolidierung einer Information führen ist, dass sie deren Relevanz für zukünftiges Verhalten erhöhen. Aufgrund des begrenzten Arbeitsspeichers unseres Gehirns ist es notwendig Kriterien zu entwickeln, die es ermöglichen, zwischen wichtigen und unwichtigen Informationen zu selektieren. Eine Möglichkeit ist die, eine Hierarchie der Gedächtnisinhalte anhand hervorstechender Merkmale zu bilden. Es werden dann diejenigen konsolidiert, die am meisten aus der Masse hervorstechen (Wilhelm, Diekelmann, Molzow et al. 2011). Dies ist für Paarungen mit großer Differenz der Fall und führt zu deren selektiver Konsolidierung während des Schlafes, wie in der vorliegenden Studie gezeigt wurde.

Hinzu kommt, dass in geringen Konfliktsituationen das Lernziel, das richtige Erkennen des bevorzugten Symbols, einfacher ist. Folglich gibt es eine größere Sicherheit richtig gelernt zu haben. Die Konsolidierung als richtig erkannter Lerninhalt ist somit in diesem Fall größer als bei hohen Konfliktsituationen, bei denen immer eine Ungewissheit darüber verbleibt, ob das Lernziel, nämlich das vorteilhaftere Symbol auszuwählen, erfüllt ist. Im Falle größerer Abstände im Entscheidungsprozess fällt es den Probanden leichter diese auch explizit zu erkennen. Das explizit erworbene Lerninhalte schlafgebunden konsolidiert werden ist ausreichend belegt (Walker, Brakefield, Seidman et al. 2003; Robertson, Pascual-Leone und Press 2004).

In der vorliegenden Studie gab es bereits unmittelbar nach dem Lernen durch das starke Abschneiden der Probanden beim Erlernen des vorteilhaften Symbols („Choose A“) einen Deckeneffekt. Eine weitere Performancesteigerung konnte daher nicht mehr abgebildet werden. Es ist also nicht auszuschließen, dass auch für die Bedingung „Choose A“ eine schlafabhän-

gige Konsolidierung stattfindet, diese aber in dem jetzigen Testdesign durch den Deckeneffekt nicht erkannt werden kann.

4.2 Bedeutung des Schlafes für implizit erworbene Kenntnisse

Das AGL Paradigma gilt als Beispiel für implizites Lernen. Allerdings werden die Probanden bereits während des Baselinetestes darauf hingewiesen, dass einige Strings nach einer Regel generiert wurden. Damit handelt es sich nicht mehr um ein rein implizites Lernen, da das Wissen über das Vorhandensein einer Regel zu einer expliziten Prozessierung der Informationen geführt haben könnte. Hinzu kommt, dass sowohl in der Schlaf- als auch in der Wachgruppe bereits vor der Konsolidierung explizite Kenntnisse in Form korrekter Triplets entstanden sind. Diese Kenntnisse werden in der Schlafgruppe gefestigt, während die Wachgruppe sich signifikant verschlechtert. Das Klassifikationsverhalten, also ein impliziter Teil des AGL Experimentes, unterscheidet sich zwischen Wach- und Schlafgruppe zu keinem Zeitpunkt, wird jedoch wie oben beschrieben vom Antwortverhalten der Probanden beeinflusst. Schlaf scheint vor allem die Konsolidierung explizit gelernter Informationen positiv zu beeinflussen. Auch beim PST ist viel explizites Wissen verankert. Die Probanden wissen während des gesamten Studienablaufes nichts von den zugrundeliegenden Wahrscheinlichkeiten mit denen ein Symbol ein positives Feedback erzeugt. Dennoch bleibt es ihnen nicht verborgen, dass Symbol A besser ist als Symbol B. Beim PST handelt es sich weder um rein implizites noch rein explizites Lernen. Die nach dem Lernen vorhandenen Kenntnisse werden anschließend über Nacht konsolidiert, und es kommt zu einer Steigerung der Performance. Diese Steigerung erfolgt nicht für alle Paare in gleichem Maße und die Unterschiede zwischen Tag und Nacht sind nicht so groß wie beim AGL Paradigma, dennoch spricht einiges dafür, dass auch die implizit gelernten Informationen des PST durch Schlaf besser konsolidiert werden als über Tag. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu Erkenntnissen aus anderen Studien.

Robertson et al. (2004) zeigten beispielsweise, dass die Konsolidierung implizit erworbener Informationen zeit- und nicht schlafabhängig ist. Einen Vorteil für Probanden, die geschlafen hatten, im Vergleich zu anderen, die über Tag konsolidierten, zeigte sich nur, wenn die Probanden über das Vorhandensein einer Regel informiert waren, also explizit lernten. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Wagner et al. (2004), in deren Studie sich sowohl in der Wach- als auch der Schlafgruppe vergleichbare Beschleunigungen der Reaktionszeiten (als Ausdruck impliziten Lernens) beim NRT fanden. Die Frage der Bedeutung des Schlafes für rein implizites Lernen ist noch nicht abschließend geklärt und bedarf weiterer Nachforschun-

gen.

Genauere Rückschlüsse auf die Rolle des Schlafes bei der Konsolidierung des PST könnte eine Studie erbringen, in der eine implizite Bedingung (wie in der beschriebenen Studie genutzt) mit einer expliziten Bedingung, bei der die Probanden informiert werden über das Vorhandensein einer Probabilistik, verglichen werden. Nach den Ergebnissen von Robertson et al. (2004) sollten die Personen der expliziten Bedingung sich nur verbessern, wenn die Konsolidierung im Schlaf erfolgt.

4.3 Die Rolle des Schlafes für die Entstehung expliziten Wissens

Die vorliegende AGL Studie zeigt, dass Schlaf die Entstehung expliziter Kenntnisse fördert. Probanden, die geschlafen haben, nutzten anschließend deutlich mehr neue Triplets als Probanden, die dieselbe Zeitspanne wach waren. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus vorangehenden Studien, die ebenfalls eine Konversion von implizitem zu explizitem Wissen durch Schlaf belegen (Wagner, Gais, Haider et al. 2004; Yordanova, Kolev, Verleger et al. 2008; Yordanova, Kolev, Wagner et al. 2009). Der in diesen Studien genutzte Number Reduction Task (NRT) ermöglicht unabhängig voneinander die Beobachtung von implizitem und explizitem Lernen. Im Unterschied zu dem hier genutzten AGL Paradigma ist der Zeitpunkt, zu dem explizites Wissen vorhanden war, exakt festzulegen. Ein weiterer Unterschied zu den oben genannten Studien ist, dass den Probanden in der vorliegenden Studie durch die Testinstruktion bereits bekannt ist, dass es eine versteckte Regel hinter den Strings gibt. Dies führt möglicherweise zu einer expliziten Prozessierung der Aufgabe. Auch sind sowohl in der Wach- als auch in der Schlafgruppe die Probanden bereits vor der Konsolidierung in der Lage, korrekte Triplets für ihre Strings zu nutzen. Handelt es sich also mehr um die Konsolidierung expliziten Wissens als um eine Konversion von impliziten zu expliziten Kenntnissen? Dann wäre zu erwarten, dass die Anzahl der korrekten Triplets sowie der ACS Wert steigt, da die Konsolidierung zu einer Stabilisierung des bereits Gelernten führt. Nach der Konsolidierung nutzen die Probanden jedoch auch neue, also bisher unbekannte Triplets. Die Probanden, die geschlafen haben, nutzen deutlich mehr von diesen neuen Triplets als die Probanden, die nicht geschlafen haben. Im Schlaf kommt es zu einer erneuten Bearbeitung der Informationen mit dem Ergebnis, dass am nächsten Morgen bisher nicht vorhandene explizite Kenntnisse entstehen. Dies deckt sich mit Ergebnissen einer Studie von Fischer et al. (2006), in der Probanden bereits unmittelbar nach dem Schlaf einen deutlichen Zuwachs an Wissen über die zugrundeliegende Sequenz des Serial Reaction Time Task (SRTT) erlangten. Auch

im Falle komplexer Informationen, wie dem AGL, spielt der Schlaf eine entscheidende Rolle in der Konsolidierung. Dies konnte durch die vorliegende Studie belegt werden.

4.4 Die Rolle der Reexposition

Bezüglich der Anzahl richtig gewählter Triplets sowie der Höhe des ACS zeigten sich die Ergebnisse der Schlafgruppe unmittelbar nach dem Schlaf leicht verbessert, ein eindeutiger Zuwachs an Wissen zeigte sich zu diesem Zeitpunkt allerdings noch nicht. Im Gegensatz zur Wachgruppe kam es aber nicht zu einer deutlichen Verschlechterung der Performance. Dies lässt den Schluss zu, dass Schlaf auch bei komplexen Informationen zu einer Stabilisierung des Gelernten führt. Beschäftigt sich der Proband anschließend erneut mit der Aufgabe, kann diese außerdem besser verarbeitet und gelöst werden. Die Folge ist im Fall des AGL eine deutlich höhere Anzahl korrekt benutzter Triplets und höherer ACS Werte in der Schlafgruppe bei einer erneuten Konfrontation mit der Aufgabe. Zwar profitieren auch Probanden der Wachgruppe von einer Reexposition. Sie verbessern sich aber nicht über das Ausgangsniveau hinaus. Die während der Enkodierung angelegte Repräsentation der den Strings zugrundeliegenden Regel wird während des Schlafes bearbeitet und umstrukturiert. Diese Umstrukturierung ermöglicht dem Gehirn eine bessere Verarbeitung der Informationen während der erneuten Exposition. Die Folge ist eine deutliche Steigerung der Leistung in einem weiteren Test. Diese Effekte der Reexposition traten nur auf, wenn Probanden vorher geschlafen hatten. Diese Ergebnisse bestätigen Erkenntnisse aus vorangehenden Studien mit dem NRT. In einer Studie von Wagner et al. (2004) gab es keinen Studienteilnehmer, der direkt nach dem Schlaf Informationen über die versteckte Regel geben konnte. Diese entstanden erst während einer erneuten Konfrontation der Probanden mit dem NRT. In einer Studie von Yordanova et al. (2009) traten explizite Kenntnisse frühestens im fünften Block des NRT auf. Verleger et al. (2011) konnten schlafabhängige Performancesssteigerung in einem Assoziationstask nur für solche Assoziationen zeigen, die bereits während der Testphase vor dem Konsolidierungsintervall gezeigt wurden. Für neue Assoziationen fand sich hingegen kein schlafabhängiger Zuwachs. Die vorliegende Studie erweitert diese Erkenntnisse dahingehend, dass neue Strings signifikant häufiger in der Schlafgruppe generiert wurden. Dieses deutet erstmals daraufhin, dass das Konzept der Grammatik konsolidiert werden konnte und es den Probanden ermöglicht, neue grammatikalische Strings zu generieren. Dieser Befund deutet darauf, dass ein übergeordnetes Konzept der Grammatik, also die hinterlegte Regel, nach dem Schlaf besser angewendet werden konnte. Diese Generierung eines übergeordneten Konzeptes durch den Schlaf wäre ein evolutionärer Vorteil: Grundregeln komplexer Strukturen würden durch eine

schlafgebundene Konsolidierung eine tiefere Einsicht erlauben. Die vorliegende Arbeit gibt erste Hinweise auf diesen Mechanismus.

Ob Probanden vor dem Schlaf implizite oder gar keine Kenntnisse über die zugrundeliegende Regel erlangten, spielt bei der Entstehung von expliziten Kenntnissen über den NRT durch Schlaf keine Rolle. Untersucht man aber die Rolle spezifischer Schlafstadien so zeigt sich, dass Probanden, die vor dem Schlaf implizite Kenntnisse erlangt haben, vor allem dann explizite Kenntnisse entwickeln, wenn der SWS Anteil besonders hoch ist, wohingegen ein hoher REM Schlafanteil eher zu einer Konsolidierung impliziter Informationen führt (Yordanova, Kolev, Verleger et al. 2008).

4.5 Bedeutung einzelner Schlafstadien

Mittlerweile gibt es zahlreiche Studien, die die Bedeutung verschiedener Schlafstadien für eine Verbesserung der Performance sowohl in deklarativen Tests als auch für prozedurale Gedächtnisinhalte belegen (Peigneux, Laureys, Fuchs et al. 2003; Plihal und Born 1997). Lange Zeit ging man davon aus, dass die Konsolidierung motorischer Fertigkeiten vor allem im REM-Schlaf erfolgt (Peigneux, Laureys, Fuchs et al. 2003; Plihal und Born 1997), während für die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte vor allem der SWS wichtig scheint (Plihal und Born 1997). Im Widerspruch dazu stehen Ergebnisse neuerer Studien. Rasch et al. (2009) konnten in Ihrer Studie zeigen, dass eine Suppression des REM-Schlafes, wie sie beispielsweise durch neuere Antidepressiva erfolgt, statt zu einer Verschlechterung sogar zu einer Verbesserung einer vor dem Schlaf erlernten motorischen Fertigkeit führt. In der PST Studie fanden wir keine wegweisenden Zusammenhänge zwischen einem Schlafstadium und der Performance. Beim AGL zeigte sich ein negativer Zusammenhang zwischen der Konsolidierung expliziten Wissens und der im Tiefschlaf (Stadium 3&4; SWS) verbrachten Zeit. Eine entsprechende positive Korrelation mit anderen Schlafstadien, insbesondere dem Stadium 2, fand sich jedoch nicht. Es gibt Studien, die einen Zusammenhang mit einem erhöhten Anteil des NREM Stadium 2 und einer verbesserten Performance sowohl in deklarativen als auch in prozeduralen Gedächtnistests zeigen konnten (Fogel und Smith 2006; Gais, Molle, Helms et al. 2002; Schabus, Gruber, Parapatics et al. 2004; Walker, Brakefield, Morgan et al. 2002). Ein möglicher Grund für die Diskrepanz zwischen unseren Ergebnissen und denen vorangehender Studien ist, dass bislang alle Erkenntnisse aus einfachen deklarativen und prozeduralen Gedächtnistests stammen. Es ist vor allem eine erhöhte Schlafspindeldichte im Stadium 2 die mit einer verbesserten Performance assoziiert ist (Gais, Molle, Helms et al. 2002; Schabus, Gruber, Parapatics et al. 2004). Um genauer zu untersuchen, ob sich der

Anteil der Schlafspindeln im Anschluss an die Lernsession verändert, wäre es notwendig gewesen, eine Testnacht ohne Lernen aufzuzeichnen. In unserem Fall haben die Probanden eine Probenacht mit dem Polysomnographiegerät absolviert. Da dies für sie eine neue Erfahrung darstellt, ist der Schlaf in dieser Nacht nicht vergleichbar mit einer normalen Nacht. Es hätte daher noch eine dritte Nacht als Referenznacht zum Vergleich der Schlafspindeldichte durchgeführt werden müssen.

4.6 Diskussion der Methodik

Im Folgenden werden zum Abschluss wichtige Aspekte des methodischen Aufbaus der Studien erläutert und diskutiert.

4.6.1 Konsolidierung über Tag

Obwohl die Probanden der über Tag konsolidierenden Gruppen (Gruppe 2 und 4) aufgefordert wurden, während des Tages auf Schlaf zu verzichten, kann dies nicht sicher ausgeschlossen werden. Es wäre dann allerdings zu erwarten gewesen, dass sie beim Abruf ausgeruhter gewesen wären und ähnlich positive Effekte wie die Probanden der Schlafgruppen zeigten. Weder bei der Klassifikations- sowie der Generierungsaufgabe der AGL Testreihe, noch während der Testphase des PST zeigten sich in der Wachgruppe dieselben Veränderungen der Performance wie in der Schlafgruppe.

4.6.2 Tageszeitliche Einflüsse auf die Performance

Da das Intervall zwischen den zwei Testungen entweder aus Schlaf oder Wachsein bestand, absolvierten die Gruppen das erste Training sowie die erneuten Testungen jeweils zu unterschiedlichen Tageszeiten (siehe 2.2.). Unterschiede zwischen den Gruppen könnten also allein aufgrund der verschiedenen Tageszeiten zustande gekommen sein. Zwei Gründe sprechen allerdings gegen einen relevanten Einfluss der Tageszeit. Erstens gab es weder beim AGL noch beim PST Unterschiede zwischen den Schlaf- und Wachgruppen in Bezug auf die Performance während des Trainings. Zweitens zeigte die Auswertung der Aktiviertheitsdaten der SSS und EWL für alle Gruppen keinerlei Unterschiede während der Testphase nach der Konsolidierung. Die Probanden des PST unterschieden sich auch während der Lernphase und der anschließenden Testung nicht in den Parametern zur Aktiviertheit. Kritisch angemerkt werden muss, dass es für die AGL Gruppen keine Erhebung dieser Daten zum Zeitpunkt des Trainings gab. Aufgrund der oben beschriebenen nicht vorhandenen Unterschiede in der Performance der Gruppen wird dennoch davon ausgegangen, dass es keine Einflüsse der Tageszeit

auf die Performance gab. Es kann also nicht sicher ausgeschlossen werden, dass die Tageszeit einen Einfluss auf die Performance der Probanden hatte. Allerdings zeigten sich keinerlei Unterschiede zwischen den Gruppen während des Lernens, sodass ein Einfluss der Tageszeit als unwahrscheinlich angenommen wird.

4.6.3 Einfluss der Testinstruktion auf das Klassifikationsergebnis

Die Ergebnisse der Klassifikationsaufgabe zeigen, dass in beiden Gruppen Probanden waren, die sich für ein bestimmtes Antwortverhalten entschieden haben. Dies führt bei allen drei Zeitpunkten und in beiden Gruppen zu Klassifikationsergebnissen um die 50%. Eine Bewertung dahingehend, ob Grammatikalität, also Einsicht in die versteckte Regel oder Ähnlichkeit besser konsolidiert werden, ist daher nicht möglich. Eine mögliche Ursache könnte in der Formulierung der Testinstruktion liegen. Während der Klassifikation erfolgt die Konfrontation mit dem Vorliegen einer solchen Regel und es soll eine Entscheidung zwischen grammatikalischen und nicht grammatikalischen Strings erfolgen. Möglicherweise hätte die Information der Probanden über das Verhältnis von 1:1 zwischen grammatikalischen und nicht-grammatikalischen Strings die Tendenz immer Ja- oder immer Nein zu wählen verringert. Eine weitere Möglichkeit wäre die Veränderung der Testinstruktion vor dem Lernen. Vor der Lernphase wird den Probanden signalisiert, dass sie an einer Aufgabe für das Arbeitsgedächtnis teilnehmen. Sie werden nicht darüber informiert, dass die von Ihnen zu lernenden Strings alle nach einer bestimmten Regel entstanden sind. Dieses Wissen bzw. Nichtwissen könnte einen Einfluss auf die Verarbeitung der Strings im Gehirn haben. Diesen Überlegungen stehen die Ergebnisse von Forkstam et al. (2008) gegenüber, in deren Experimenten auch Versuchspersonen, die lange Zeit gar nicht über das Vorhandensein einer Regel informiert waren, zunehmend mehr Strings richtig klassifizieren konnten. Forkstam et al. (2008) untersuchten zwei Gruppen, wobei eine Gruppe bereits vor der ersten Lernphase von der Existenz einer Regel wusste, während die andere Gruppe weder vor dem Lernen, noch zur Klassifikation über das Vorhandensein einer Regel informiert waren. Beide Gruppen verbessern ihre Performance von Tag zu Tag. Möglicherweise hätte in der durchgeführten Studie ebenfalls bereits vor dem Lernen die Information über eine vorhandene Regel erfolgen sollen. Aufgrund dieses methodischen Fehlers wurde auf eine Interpretation des Klassifikationsergebnisses verzichtet. Die Interpretation der generierten Strings bleibt von diesem Bias aber unbeeinflusst, sodass sie vollständig diskutiert werden kann.

4.7 Fazit und Ausblick

Mit den vorliegenden zwei Studien konnte gezeigt werden, dass Schlaf die Konsolidierung komplexer Informationen fördert. Dies geschieht unabhängig davon, ob diese in einem neutralen, wie beim AGL, oder einem Belohnungskontext wie beim PST gelernt werden. Schlaf führt auch bei komplexen Informationen zu einer Umstrukturierung, die es bei Reexposition ermöglicht, das bekannte Problem besser zu lösen.

Dennoch bleiben einige interessante Fragen unbeantwortet. Es wäre daher wichtig weitere Studien durchzuführen, um die folgenden Fragen näher zu beleuchten:

- In welchen Schlafphasen findet diese Konsolidierung genau statt?
- Welcher Dialog zwischen welchen Hirnregionen ist für diese Konsolidierung notwendig?
- Welche Rolle spielt die Lern- bzw. Enkodierungsphase bei komplexen Fragestellungen für den Zugang zur schlafabhängigen Konsolidierung?
- Gibt es Möglichkeiten diesen Konsolidierungsprozess zu verstärken?

5 Zusammenfassung

Durch zahlreiche Studien konnte in den letzten Jahren belegt werden, dass Schlaf zu einer Reorganisation innerhalb der Gedächtnissysteme führt. Ein Gedächtnispfad, welcher in einer Lernsituation angelegt wurde, wird im Schlaf konsolidiert, was zu einer Performancesteigerung nach dem Schlaf führt. Dieser Mechanismus ist für das motorische und das deklarative System gut belegt. In der vorliegenden Studie wird geprüft, ob diese Gedächtniskonsolidierung auch für den Erwerb komplexer Informationen gilt.

Um die Frage nach einer schlafgebundenen Konsolidierung komplexer Informationen zu untersuchen, wurden zwei Paradigmen genutzt, welche zum einen das Lernen einer künstlichen Grammatik (AGL) zum anderen das Vorhersagen von Wahrscheinlichkeiten beinhaltet (probabilistischer Lerntest, PST). Bei beiden Paradigmen lernen die Probanden komplexe Systeme: Beim AGL im Sinne grammatikalischer und nicht-grammatikalischer Zeichenketten, welche aus einem probabilistischen System ohne Belohnungskontext generiert werden. Beim PST hingegen lernen die Probanden ein komplexes probabilistisches System im Belohnungskontext. 40 gesunde Studenten lernten beim AGL zunächst grammatikalische Zeichenketten (Strings) durch Abtippen. Anschließend waren sie aufgefordert neue Zeichenketten in grammatikalisch und nicht-grammatikalisch zu klassifizieren. Zum Abschluss des ersten Blockes vor der Konsolidierung waren die Probanden aufgefordert eigenständig Strings zu generieren. Die vierzig Studenten wurden randomisiert aufgeteilt in eine Schlaf- und eine Wachgruppe. Im Anschluss an ein Intervall bestehend aus Nacht oder Tag erfolgte ein erneuter Block bestehend aus Klassifikations- und Generierungsaufgabe. Um auch die Rolle der Reexposition untersuchen zu können, folgte hierauf ein erneuter Lernblock mit anschließender Klassifikation und Generierungsaufgabe.

34 weitere Studenten wurden, ebenfalls randomisiert verteilt auf eine Schlaf- und eine Wachgruppe, am PST getestet. Es erfolgte zunächst eine Lernphase in der den Probanden drei verschieden Symbolpaare gezeigt wurden. Sie sollten sich jeweils für ein Symbol entscheiden und erhielten anschließend ein Feedback, ob ihre Entscheidung richtig oder falsch war. Dieses Feedback war probabilistisch. In der Abrufphase mussten die Probanden wieder zwischen zwei Symbolen wählen, zusätzlich zu den Paarungen der Lernphase waren jetzt alle weiteren Kombinationen möglich. Diesmal erhielten sie kein Feedback. Im Anschluss an ein Intervall aus Schlaf oder Wachsein erfolgte ein erneuter Testdurchlauf. Um sicherzustellen, dass etwaige Gruppenunterschiede nicht durch Unterschiede in der Aktiviertheit der Probanden wäh-

rend der Testungen bedingt sind, erfolgte nach den Testungen die Erfassung der Schlafqualität und Aktiviertheit der Probanden mittels Fragebögen. Die Probanden, die den Schlafgruppen zugeteilt waren erhielten zur Aufzeichnung wichtiger Schlafparameter ein Polysomnographie-Gerät angelegt. Die Auswertung erfolgte nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales.

In der Lernsituation selbst gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Lernleistung zwischen den jeweiligen Schlaf- und Wachgruppen. Nachfolgender Schlaf befähigte die Probanden signifikant mehr neue Zeichenketten bei der Generierungsaufgabe zu nutzen als ein gleiches Intervall ohne Schlaf. Während Schlaf zu einer Festigung der gelernten Triplets und der ACS Werte führte, hatte Wachsein eher einen negativen Effekt auf das bereits Gelernte. Beim Vergleich von Schlaf- und Kontrollgruppe des PST zeigte sich, dass sich Probanden der Schlafgruppe signifikant häufiger für die richtige Wahrscheinlichkeit entschieden. Dies war besonders für erlerntes Vermeidungsverhalten und in geringen Konfliktsituationen der Fall. Eindeutige Korrelationen der Ergebnisse mit einem bestimmten Schlafstadium fanden sich nicht.

Mit dieser Studie konnte gezeigt werden, dass Schlaf eine wesentliche Rolle bei der Konsolidierung komplexer Lerninhalte spielt und so mehr Informationen über das zuvor erlernte komplexe System korrekt wiedergegeben werden können. Durch den Schlaf kommt es zu einer Wandlung implizit erlernter Informationen über die komplexen Systeme, die nach dem Schlaf vom Lernenden explizit wiedergegeben werden können. Die Ergebnisse der PST Studie zeigen außerdem, dass nicht jede gelernte Information Zugang zur schlafabhängigen Konsolidierung erlangt. Vielmehr scheint es Mechanismen zu geben, die es dem Gehirn erlauben eine Selektion zu treffen. Dieses war vor allem für Entscheidungen hoher Relevanz der Fall. Somit zeigt diese Studie eindeutig, dass Schlaf die Konsolidierung komplexer Informationen – sei es im neutralen Kontext wie beim AGL oder im Belohnungskontext wie beim PST, fördert. Erstmals konnte gezeigt werden, dass eine schlafgebundene Konsolidierung mit einer Festigung grammatikalischen Regelwissen einhergeht, was sich darin zeigt, dass signifikant mehr neue Buchstabenketten nach dem Schlaf generiert werden als in der Wachgruppe. Somit führt Schlaf zu der Festigung von komplexem Regelwissen mit der Fähigkeit aus diesem Wissen einen Wissensvorsprung zu generieren.

6 Literaturverzeichnis Literaturverzeichnis

Backhaus, J., Born, J., Hoeckesfeld, R., Fokuhl, S., Hohagen, F. und Junghanns, K. (2007): Midlife decline in declarative memory consolidation is correlated with a decline in slow wave sleep. Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 14, 336-341

Born, J. und Wilhelm, I. (2012): System consolidation of memory during sleep. Psychological research, 76, 192-203

Brashers-Krug, T., Shadmehr, R. und Bizzi, E. (1996): Consolidation in human motor memory. Nature, 382, 252-255

Buysse, D. J., Reynolds, C. F., 3rd, Monk, T. H., Berman, S. R. und Kupfer, D. J. (1989): The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. Psychiatry research, 28, 193-213

Cohen, D. A., Pascual-Leone, A., Press, D. Z. und Robertson, E. M. (2005): Off-line learning of motor skill memory: a double dissociation of goal and movement. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102, 18237-18241

Djonlagic, I., Rosenfeld, A., Shohamy, D., Myers, C., Gluck, M. und Stickgold, R. (2009): Sleep enhances category learning. Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 16, 751-755

Doi, Y., Minowa, M., Uchiyama, M., Okawa, M., Kim, K., Shibui, K. und Kamei, Y. (2000): Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. Psychiatry research, 97, 165-172

Drosopoulos, S., Harrer, D. und Born, J. (2011): Sleep and awareness about presence of regularity speed the transition from implicit to explicit knowledge. Biological psychology, 86, 168-173

Ellenbogen, J. M., Hu, P. T., Payne, J. D., Titone, D. und Walker, M. P. (2007): Human relational memory requires time and sleep. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104, 7723-7728

Fan, F., Zhou, Y. und Liu, X. (2016): Sleep Disturbance Predicts Posttraumatic Stress Disorder and Depressive Symptoms: A Cohort Study of Chinese Adolescents. J Clin Psychiatry,

Fictenberg, N. L., Putnam, S. H., Mann, N. R., Zafonte, R. D. und Millard, A. E. (2001): Insomnia screening in postacute traumatic brain injury: utility and validity of the Pittsburgh

Sleep Quality Index. American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists, 80, 339-345

Fischer, S., Drosopoulos, S., Tsen, J. und Born, J. (2006): Implicit learning -- explicit knowing: a role for sleep in memory system interaction. Journal of cognitive neuroscience, 18, 311-319

Fogel, S. M. und Smith, C. T. (2006): Learning-dependent changes in sleep spindles and Stage 2 sleep. J Sleep Res, 15, 250-255

Forkstam, C., Elwer, A., Ingvar, M. und Petersson, K. M. (2008): Instruction effects in implicit artificial grammar learning: a preference for grammaticality. Brain research, 1221, 80-92

Forkstam, C., Hagoort, P., Fernandez, G., Ingvar, M. und Petersson, K. M. (2006): Neural correlates of artificial syntactic structure classification. NeuroImage, 32, 956-967

Frank, M. J., Seeberger, L. C. und O'Reilly R, C. (2004): By carrot or by stick: cognitive reinforcement learning in parkinsonism. Science (New York, N.Y.), 306, 1940-1943

Frankland, P. W. und Bontempi, B. (2005): The organization of recent and remote memories. Nature reviews. Neuroscience, 6, 119-130

Gais, S., Albouy, G., Boly, M., Dang-Vu, T. T., Darsaud, A., Desseilles, M., Rauchs, G., Schabus, M., Sterpenich, V., Vandewalle, G., Maquet, P. und Peigneux, P. (2007): Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104, 18778-18783

Gais, S., Molle, M., Helms, K. und Born, J. (2002): Learning-dependent increases in sleep spindle density. Journal of Neuroscience, 22, 6830-6834

Gentili, A., Weiner, D. K., Kuchibhatla, M. und Edinger, J. D. (1995): Test-retest reliability of the Pittsburgh sleep quality index in nursing home residents. Journal of the American Geriatrics Society, 43, 1317-1318

Gomez, R. L. und Gerken, L. (2000): Infant artificial language learning and language acquisition. Trends in cognitive sciences, 4, 178-186

Haider, H. und Rose, M. (2007): How to investigate insight: a proposal. Methods, 42, 49-57

Knowlton, B. J., Mangels, J. A. und Squire, L. R. (1996): A neostriatal habit learning system in humans. Science (New York, N.Y.), 273, 1399-1402

Knowlton, B. J. und Squire, L. R. (1996): Artificial grammar learning depends on implicit acquisition of both abstract and exemplar-specific information. Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition, 22, 169-181

Knowlton, B. J., Squire, L. R., Butters, N. und Salomon, B. P. (1996): Dissociation within non-declarative memory in Huntington`s disease. Neuropsychology,

10, 539-548

Korman, M., Doyon, J., Doljansky, J., Carrier, J., Dagan, Y. und Karni, A. (2007): Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. Nature neuroscience, 10, 1206-1213

Kuriyama, K., Stickgold, R. und Walker, M. P. (2004): Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 11, 705-713

Maquet, P. (2001): The role of sleep in learning and memory. Science (New York, N.Y.), 294, 1048-1052

McGaugh, J. L. (2000): Memory--a century of consolidation. Science (New York, N.Y.), 287, 248-251

Payne, J. D., Stickgold, R., Swanberg, K. und Kensinger, E. A. (2008): Sleep preferentially enhances memory for emotional components of scenes. Psychological science, 19, 781-788

Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Destrebecqz, A., Collette, F., Delbeuck, X., Phillips, C., Aerts, J., Del Fiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., Cleeremans, A. und Maquet, P. (2003): Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep. NeuroImage, 20, 125-134

Pennartz, C. M., Uylings, H. B., Barnes, C. A. und McNaughton, B. L. (2002): Memory reactivation and consolidation during sleep: from cellular mechanisms to human performance. Prog Brain Res, 138, 143-166

Petersson, K. M., Forkstam, C., & Ingvar, M. . (2004): Artificial syntactic violations activate Broca`s region. Cognitive Science, 28(3), 383-407

Plihal, W. und Born, J. (1997): Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. Journal of cognitive neuroscience, 9, 534-547

Rasch, B., Pommer, J., Diekelmann, S. und Born, J. (2009): Pharmacological REM sleep suppression paradoxically improves rather than impairs skill memory. Nature neuroscience, 12, 396-397

Reber, A. S. (1967): Implicit Learning of Artificial Grammars. J Verb Learn Verb Be, 6, 855-863

Rechtschaffen, A. und Kales, A. (1968): A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects, Macmillian Magazines Ltd.

- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A. und Press, D. Z. (2004): Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. Current biology : CB, 14, 208-212
- Schabus, M., Gruber, G., Parapatics, S., Sauter, C., Klosch, G., Anderer, P., Klimesch, W., Saletu, B. und Zeitlhofer, J. (2004): Sleep spindles and their significance for declarative memory consolidation. Sleep, 27, 1479-1485
- Schacter, D. L., Chiu, C. Y. und Ochsner, K. N. (1993): Implicit memory: a selective review. Annual review of neuroscience, 16, 159-182
- Seger, C. A., Prabhakaran, V., Poldrack, R. A. und Gabrieli, J. D. E. (2000): Neural activity differs between explicit and implicit learning of artificial grammar strings: An fMRI study Psychobiology, 28, 283-292
- Seung-Schik Yoo, N. G., Peter Hu, Ferenc A. Jolesz and Matthew P. Walker. (2007): The human emotional brain without sleep - a prefrontal amygdala disconnect Current Biology, 17, R877-R878
- Squire, L. R. und Zola, S. M. (1996): Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 93, 13515-13522
- Stickgold, R., Hobson, J. A., Fosse, R. und Fosse, M. (2001): Sleep, learning, and dreams: off-line memory reprocessing. Science (New York, N.Y.), 294, 1052-1057
- Stickgold, R., James, L. und Hobson, J. A. (2000): Visual discrimination learning requires sleep after training. Nature neuroscience, 3, 1237-1238
- Stickgold, R. und Walker, M. P. (2005): Memory consolidation and reconsolidation: what is the role of sleep? Trends in neurosciences, 28, 408-415
- Takashima, A., Petersson, K. M., Rutters, F., Tendolkar, I., Jensen, O., Zwarts, M. J., McNaughton, B. L. und Fernandez, G. (2006): Declarative memory consolidation in humans: a prospective functional magnetic resonance imaging study. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103, 756-761
- Verleger, R., Ludwig, J., Kolev, V., Yordanova, J. und Wagner, U. (2011): Sleep effects on slow-brain-potential reflections of associative learning. Biological psychology, 86, 219-229
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. und Born, J. (2004): Sleep inspires insight. Nature, 427, 352-355
- Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J. A. und Stickgold, R. (2003): Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. Nature, 425, 616-620

Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A. und Stickgold, R. (2002): Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. Neuron, 35, 205-211

Walker, M. P., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. A. und Stickgold, R. (2003): Sleep and the time course of motor skill learning. Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 10, 275-284

Wamsley, E. J., Tucker, M., Payne, J. D., Benavides, J. A. und Stickgold, R. (2010): Dreaming of a learning task is associated with enhanced sleep-dependent memory consolidation. Current biology : CB, 20, 850-855

Wilhelm, I., Diekelmann, S., Molzow, I., Ayoub, A., Molle, M. und Born, J. (2011): Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 31, 1563-1569

Wilhelm, I., Rose, M., Imhof, K. I., Rasch, B., Buchel, C. und Born, J. (2013): The sleeping child outplays the adult's capacity to convert implicit into explicit knowledge. Nature neuroscience,

Witt, K., Margraf, N., Bieber, C., Born, J. und Deuschl, G. (2010): Sleep consolidates the effector-independent representation of a motor skill. Neuroscience, 171, 227-234

Witt, K., Nuhman, A. und Deuschl, G. (2002a): Dissociation of habit-learning in Parkinson's and cerebellar disease. Journal of cognitive neuroscience, 14, 493-499

Witt, K., Nuhman, A. und Deuschl, G. (2002b): Intact artificial grammar learning in patients with cerebellar degeneration and advanced Parkinson's disease. Neuropsychologia, 40, 1534-1540

Woltz, D. J., Bell, B.G., Kyllonen, P.C., and Gardner, M.K. (1996): Memory for order of operations in the acquisition and transfer of sequential cognitive skills

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 22(2), 438-457

Yordanova, J., Kolev, V. und Verleger, R. (2009): Awareness of knowledge or awareness of processing? Implications for sleep-related memory consolidation. Frontiers in human neuroscience, 3, 40

Yordanova, J., Kolev, V., Verleger, R., Bataghva, Z., Born, J. und Wagner, U. (2008): Shifting from implicit to explicit knowledge: different roles of early- and late-night sleep. Learning & memory (Cold Spring Harbor, N.Y.), 15, 508-515

Yordanova, J., Kolev, V., Wagner, U., Born, J. und Verleger, R. (2012): Increased alpha (8-12 Hz) activity during slow wave sleep as a marker for the transition from implicit knowledge to explicit insight. Journal of cognitive neuroscience, 24, 119-132

Yordanova, J., Kolev, V., Wagner, U. und Verleger, R. (2009): Covert reorganization of implicit task representations by slow wave sleep. PloS one, 4, e5675

Zola-Morgan, S. und Squire, L. R. (1993): Neuroanatomy of memory. Annual review of neuroscience, 16, 547-563

7 Anhang

7.1. Einverständniserklärung der Probanden



UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein, Klinik für Neurologie,
Campus Kiel, Schittenhelmstr. 10, D – 24105 Kiel

UNIVERSITÄTSKLINIKUM
Schleswig-Holstein

Campus Kiel



Klinik für Neurologie

Direktor Prof. Dr. med. G. Deuschl

Einverständniserklärung zur Teilnahme an einer Teilstudie des Sonderforschungsbereiches „Schlaf und Plastizität“

In dieser Studie geht es um das Arbeiten mit Buchstabenfolgen.

Dazu werden ein bis zwei Untersuchungszeitpunkte notwendig. Diese können bis zu 12h auseinander liegen.

Zudem werden Daten hinsichtlich der Schlafqualität und des Aktiviertheitsgrades erhoben. Nach dem Erheben der Daten werden diese anonymisiert und gespeichert.

Es besteht jederzeit die Möglichkeit, die Studie zu unterbrechen oder abzubrechen, ohne dass ich dieses begründen muss oder ein Nachteil für mich entsteht.

Meine Teilnahme an der Untersuchung wird mit 8 € pro Stunde honoriert.

In einem Aufklärungsgespräch mit der Versuchsleiterin hatte ich ausreichend Gelegenheit, meine Fragen beantworten zu lassen.

Ich stimme zu, an dieser Studie teilzunehmen.

Kiel, den _____ 2010

(Unterschrift der /des Probandin/-en)

(Unterschrift des Studienleiters)

Universitätsklinikum
Schleswig-Holstein
Anstalt des
öffentlichen Rechts

Vorstandsmitglieder:
Prof. Dr. Bernd Kremer, Prof. Dr. Dieter
Jocham, Dipl.-Kfm. Günter Zwilling,
Dipl.-Kff. (FH) Barbara Schulte

Bankverbindungen
Sparkasse Kiel, Kto.-Nr. 100206, BLZ 21050170
Dresdner Bank Lübeck, Kto.-Nr. 300041200,
BLZ 23080040



7.2 Scores und Fragebögen

7.2.1 Stanford Sleepiness Scale (SSS)

Grad der Schläfrigkeit	Skala
Fühle mich aktiv, vital, voll da, hellwach	1
Habe einen klaren Kopf, bin aber nicht in Top-Form; kann mich konzentrieren	2
Wach, aber entspannt; reagiere, bin aber nicht so ganz da	3
Etwas benommen, schlaff	4
Benommen, verliere das Interesse am Wach bleiben, tranig	5
Schläfrig, benommen, kämpfe mit dem Schlaf; würde mich gerne hinlegen	6
Kämpfe nicht mehr gegen den Schlaf, schlafe gleich ein; traumartige Gedanken	7
Schlafe	X

7.2.2 Eigenschaftswörterliste (N)

Dies ist eine Liste von Wörtern, mit denen man beschreiben kann, wie man sich augenblicklich fühlt. Gehen Sie alle Wörter der Liste nacheinander durch und entscheiden Sie sofort bei jedem Wort, ob es für Ihr augenblickliches Befinden zutrifft oder nicht. Trifft das Wort für Ihr augenblickliches Befinden zu, so machen Sie bitte ein Kreuz in den Kreis hinter „trifft zu“. Trifft das Wort für Ihr augenblickliches Befinden nicht zu, so machen Sie bitte ein Kreuz in den Kreis hinter „trifft nicht zu“.

Es ist wichtig, dass Sie folgende Punkte beachten:

- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich augenblicklich fühlen. Es kommt nicht darauf an, wie Sie sich allgemein oder gelegentlich fühlen, sondern ob was Wort augenblicklich zutrifft oder nicht.
- Überlegen Sie bitte nicht, welche Antwort den besten Eindruck machen könnte. Antworten Sie so, wie Ihr Befinden augenblicklich ist.

- Denken Sie nicht lange über ein Wort nach, sondern geben Sie bitte die Antwort, die Ihnen unmittelbar in den Sinn kommt.
- Sollte Ihnen die Antwort einmal schwerfallen, so entscheiden Sie sich für die Antwortmöglichkeit, die am ehesten zutreffen könnte.
- Bitte lassen Sie kein Wort aus. Entscheiden Sie sich immer sofort.

Bitte im Folgenden so ankreuzen: trifft zu trifft nicht zu
trifft zu trifft nicht zu

Dies sind einige Beispielwörter. Bearbeiten Sie bitte zuerst einmal diese.

schlapp.....	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
zufrieden	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
ruhig	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
ungeduldig.....	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>

Haben Sie noch irgendwelche Fragen?

Hier noch einmal die wichtigsten Punkte:

- o Antworten Sie danach, wie Sie sich augenblicklich fühlen!
- o Sich sofort, möglichst schnell, bei jedem Wort entscheiden!
- o Wenn die Antwort schwerfällt, für diejenige Antwortmöglichkeit entscheiden, die am ehesten zutreffen könnte!
- o Kein Wort auslassen!

1 tatkräftig.....	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
2 tiefsinnig	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
3 nachlässig	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
4 schläfrig	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
5 froh	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
6 ruhelos	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
7 resolut	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>
8 aufgeregt.....	trifft zu <input type="radio"/> trifft nicht zu <input type="radio"/>

- 9 blendend..... trifft zu trifft nicht zu
- 10 todmüde trifft zu trifft nicht zu
- 11 glücklich trifft zu trifft nicht zu
- 12 temperamentlos..... trifft zu trifft nicht zu
- 13 unermüdlich trifft zu trifft nicht zu
- 14 wachsam trifft zu trifft nicht zu
- 15 dösig trifft zu trifft nicht zu
- 16 teilnahmslos trifft zu trifft nicht zu
- 17 eifrig..... trifft zu trifft nicht zu
- 18 benebelt trifft zu trifft nicht zu
- 19 zappelig trifft zu trifft nicht zu
- 20 agil trifft zu trifft nicht zu
- 21 romantisch trifft zu trifft nicht zu
- 22 ausgezeichnet trifft zu trifft nicht zu
- 23 beständig..... trifft zu trifft nicht zu
- 24 energielos trifft zu trifft nicht zu
- 25 unausgeglichen trifft zu trifft nicht zu
- 26 gedankenvoll..... trifft zu trifft nicht zu
- 27 arbeitslustig trifft zu trifft nicht zu
- 28 zerfahren trifft zu trifft nicht zu
- 29 angenehm..... trifft zu trifft nicht zu
- 30 abgespannt trifft zu trifft nicht zu
- 31 zermürbt..... trifft zu trifft nicht zu
- 32 arbeitsam..... trifft zu trifft nicht zu
- 33 gedankenverloren trifft zu trifft nicht zu
- 34 ausdauernd trifft zu trifft nicht zu
- 35 befriedigt trifft zu trifft nicht zu
- 36 erregt trifft zu trifft nicht zu
- 37 angesäuselt..... trifft zu trifft nicht zu
- 38 interessiert..... trifft zu trifft nicht zu
- 39 unberechenbar trifft zu trifft nicht zu
- 40 emsig trifft zu trifft nicht zu
- 41 kraftlos trifft zu trifft nicht zu
- 42 berauscht..... trifft zu trifft nicht zu

43 betriebsam.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
44 faul.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
45 heiter.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
46 träge.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
47 rastlos.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
48 aufmerksam.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
49 besinnlich.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
50 fahrig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
51 aktiv.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
52 unstetig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
53 beschwingt.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
54 abgearbeitet.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
55 passiv.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
56 entschieden.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
57 verträumt.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
58 tüchtig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
59 kribbelig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
60 denkfaul.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
61 lustig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
62 bedeppt.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
63 schwerfällig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
64 frohgemut.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
65 energisch.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
66 versonnen.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
67 übermütig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
68 gründlich.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
69 langsam.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
70 freudig.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
71 besoffen.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
72 reizbar.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
73 schöpferisch.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
74 beschaulich.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
75 geistesabwesend.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>
76 erschöpft.....	trifft zu	<input type="radio"/>	trifft nicht zu	<input type="radio"/>

- | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| 77 geschäftig | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 78 durchgedreht | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 79 gut gelaunt | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 80 angetrunken | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 81 lahm | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 82 nervös | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 83 müde | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 84 fröhlich | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 85 entschlossenfähig..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 86 behäbig | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 87 schlaftrunken | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 88 arbeitsfähig | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 89 träumerisch | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 90 zufrieden | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 91 einschläfernd..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 92 beschwipst | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 93 konzentriert..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 94 lasch..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 95 verkrampft | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 96 überschwänglich | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 97 sentimental | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 98 behände | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |

Vielen Dank, der Test ist zu Ende.

Bitte beantworten Sie noch folgende Feststellungen:

- | | | | | |
|--|-----------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 Ich bin ein Mann..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 2 Ich bin eine Frau | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 3 Der Test war sehr anstrengend | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 4 Ich hatte Mühe, das Richtige anzukreuzen | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 5 Der Test war nicht sehr anstrengend | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 6 Der Test fiel mir sehr leicht..... | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 7 Der Test war mir zu lang | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |
| 8 Schulabschluss: Hauptschule | trifft zu | <input type="radio"/> | trifft nicht zu | <input type="radio"/> |

- 9 Schulabschluss: Mittlere Reife trifft zu trifft nicht zu
- 10 Schulabschluss: Abitur trifft zu trifft nicht zu
- 11 Alter in Jahren _____
- 12 Wie spät ist es? _____

7.2.3 Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI)

Schlafqualitäts-Fragebogen (PSQI)

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre üblichen Schlafgewohnheiten und zwar nur während der letzten vier Wochen. Ihre Antworten sollten möglichst genau sein und sich auf die Mehrzahl der Tage und Nächte während der letzten vier Wochen beziehen. Beantworten Sie bitte alle Fragen.

1. Wann sind Sie während der letzten vier Wochen gewöhnlich abends zu Bett gegangen?

übliche Uhrzeit:

2. Wie lange hat es während der letzten vier Wochen gewöhnlich gedauert, bis Sie nachts eingeschlafen sind?

in Minuten:

3. Wann sind Sie während der letzten vier Wochen gewöhnlich morgens aufgestanden?

übliche Uhrzeit:

4. Wie viele Stunden haben Sie während der letzten vier Wochen pro Nacht tatsächlich geschlafen? (Das muss nicht mit der Anzahl der Stunden, die Sie im Bett verbracht haben, übereinstimmen.)

Effektive Schlafzeit (Stunden) pro Nacht:

Kreuzen Sie bitte für jede der folgenden Fragen die für Sie zutreffende Antwort an. Beantworten Sie bitte alle Fragen.

5. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen schlecht geschlafen, ...

a) ... weil Sie nicht innerhalb von 30 Minuten einschlafen konnten?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

b) ... weil Sie mitten in der Nacht oder früh morgens aufgewacht sind?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

- c) ... weil Sie aufstehen mussten, um zur Toilette zu gehen?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- d) ... weil Sie Beschwerden beim Atmen hatten?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- e) ... weil Sie husten mussten oder laut geschnarcht haben?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- f) ... weil Ihnen zu kalt war?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- g) ... weil Ihnen zu warm war?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- h) ... weil Sie schlecht geträumt hatten?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- i) ... weil Sie Schmerzen hatten?
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche

j) ... aus anderen Gründen?

Bitte beschreiben:

Und wie oft während des letzten Monats konnten Sie aus diesem Grund schlecht schlafen?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

6. Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten vier Wochen beurteilen?

- Sehr gut
- Ziemlich gut
- Ziemlich schlecht
- Sehr schlecht

7. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen Schlafmittel eingenommen (vom Arzt verschriebene oder frei verkäufliche)?

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

8. **Wie oft hatten Sie während der letzten vier Wochen Schwierigkeiten wachzubleiben, etwa beim Autofahren, beim Essen oder bei gesellschaftlichen Anlässen?**

- Während der letzten vier Wochen gar nicht
- Weniger als einmal pro Woche
- Einmal oder zweimal pro Woche
- Dreimal oder häufiger pro Woche

9. **Hatten Sie während der letzten vier Wochen Probleme, mit genügend Schwung die üblichen Alltagsaufgaben zu erledigen?**

- Keine Probleme
- Kaum Probleme
- Etwas Probleme
- Große Probleme

10. **Schlafen Sie allein in Ihrem Zimmer?**

- Ja
- Ja, aber ein Partner/Mitbewohner schläft in einem anderen Zimmer
- Nein, der Partner schläft im selben Zimmer, aber nicht im selben Bett
- Nein, der Partner schläft im selben Bett

Falls Sie einen Mitbewohner / Partner haben, fragen Sie sie/ihn bitte, ob und wie oft er/sie bei Ihnen folgendes bemerkt hat.

- a) Lautes Schnarchen
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- b) Lange Atempausen während des Schlafes
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- c) Zucken oder ruckartige Bewegungen der Beine während des Schlafes
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- d) Nächtliche Phasen von Verwirrung oder Desorientierung während des Schlafes
- Während der letzten vier Wochen gar nicht
 - Weniger als einmal pro Woche
 - Einmal oder zweimal pro Woche
 - Dreimal oder häufiger pro Woche
- e) Oder andere Formen von Unruhe während des Schlafes
- Bitte beschreiben:

Machen Sie bitte noch folgende Angaben zu Ihrer Person:

- Alter: _____ Jahre Körpergröße:
- Geschlecht: weiblich Beruf: Rentner(in)
- männlich selbständig
- Schüler/Student(in) Angestellte(r)
- Arbeiter(in) arbeitslos/ Hausfrau/mann
- Gewicht:.....

7.3 Testinstruktionen

7.3.1 Testinstruktionen Lernen PST

Du siehst immer die gleichen Symbolpaare und musst eins dieser Symbole auswählen. Dann erhältst Du eine Nachricht, ob Du Dich richtig entschieden hast. Versuche immer das symbol auszuwählen, welches häufiger eine richtige Rückkopplung gibt. Der Ort, also ob das Symbol nun rechts oder links auf dem Bildschirm zu sehen ist, spielt dabei keine Rolle. Wie gesagt, ändern sich die Symbolpaare nicht und bleiben während dieser Aufgabe immer so zusammen. Entscheide dich für ein Symbol durch das Drücken auf die entsprechende Taste, die zum Symbol gehört, also die linke oder die rechte Taste.

Entscheide Dich bitte innerhalb von 5 Sekunden! Anhaltendes Grübeln über die Lösung hilft bei dieser Lernuntersuchung nicht viel, besser man entscheidet intuitiv!

7.3.2 Instruktionen Testphase PST

Jetzt wollen wir sehen, was Du gelernt hast. Die Symbole werden wieder in Paaren gezeigt und Du wählst das richtige Symbol mittels der rechten oder linken Taste. Soweit ist alles wie in der Lernaufgabe. Eine Rückmeldung, ob Deine Entscheidung richtig oder falsch war gibt es nicht mehr. Die Symbole können auch in neuen Kombinationen gezeigt werden. Fällt dir eine neue Paarung auf, dann wähle das Symbol, dass sich für Dich „richtiger“ anfühlt. Nutze für diese Entscheidung die Erfahrungen, die Du in der Lernaufgabe gemacht hast. Wenn Du Dir nicht sicher bist, welches das richtige Symbol ist, verlasse dich auf dein Bauchgefühl. Bitte entscheide dich innerhalb von 5 Sekunden.

7.3.3 Instruktion Lernen AGL

Sie sehen hier eine Buchstabenreihe aus den Buchstaben: D, F, G, H und J:

JHJGFHGGGD

Es wird immer eine andere Buchstabenreihe gezeigt und Ihre Aufgabe ist es, diese richtig einzugeben. Somit handelt es sich um eine Aufgabe, mit der das Arbeitsgedächtnis geprüft wird. Versuchen sie bitte keinen Fehler beim Eingeben zu machen.

7.3.4 Instruktion Klassifikation AGL

Sie werden gleich Buchstabenfolgen/Strings unterschiedlicher Länge auf Ihrem Bildschirm sehen. Ein Teil dieser Strings wurde nach festgelegten Regeln generiert.

Ihre Aufgabe besteht darin, zu entscheiden, ob der gezeigte String einer Regelmäßigkeit folgt oder willkürlich entstanden ist. Bitte entscheiden Sie intuitiv aus dem Bauch heraus ohne lange zu Überlegen.

Wählen Sie „Ja“, wenn sie glauben, der String folgt einer Regelmäßigkeit und wählen Sie „Nein“, wenn Sie glauben dieser String gehört nicht dazu.

7.3.5 Bögen mit der Generierungsaufgabe AGL

Nun sollen Sie selbst der Regelmäßigkeit entsprechend 20 Buchstabenfolgen entwickeln.

Benutzen Sie hierfür die Buchstaben **D F G H und J**

Zunächst fünf 7er Folgen

Fünf 8er Folgen

Fünf 9er Folgen

Fünf 10er Folgen

Und 20 Buchstabenfolgen, die nicht der Regelmäßigkeit folgen.
Benutzen Sie auch hier die Buchstaben **D F G H und J**.

Fünf 7er Folgen

Fünf 8er Folgen

Fünf 9er Folgen

Fünf 10er Folgen

8 Danksagung

Folgenden Personen möchte ich herzlich danken; ohne sie wäre diese Arbeit nicht entstanden:

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med Karsten Witt für die Überlassung des Themas dieser Dissertation, die umfassende Betreuung mit zahlreichen Ratschlägen und Hilfestellungen insbesondere bei der statistischen Auswertung dieser Arbeit.

Dennis Ertelt für die Hilfe bei der Erstellung der Programme zur Durchführung der Tests.

Herrn Prof. Dr. med Deuschl, Direktor der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel, für die Möglichkeit der uneingeschränkten Durchführung dieser Arbeit an seiner Klinik.

Anke Hoff aus dem Schlaflabor für ihre Tipps und tatkräftige Unterstützung beim Durchführen der Testungen sowie ihre umfassende Hilfe bei der Auswertung der Polysomnographie..

Ganz besonders allen Probanden für ihre engagierte Teilnahme an dieser Studie.

Meinem Mann Johannes Strobel für die geduldige und liebevolle Unterstützung.

Und dem Rest meiner Familie für die geduldigen Korrekturen von Rechtschreibung und Grammatik.

9 Veröffentlichung

Teile dieser Arbeit wurden bereits veröffentlicht:

Vortrag: I. Gnegel, D. Ertelt, T. Sauer, A. Stoldt, T. van Eimeren, G. Deuschl, K. Witt (Kiel, Lübeck) „Schlaf konsolidiert Wissen aus komplexen Systemen“ 86. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie (DGN), 18.-21. September 2013 in Dresden

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Inga Strobel, geb. Gnegel
Anschrift	Lorichsstraße 38, 22307 Hamburg
Geburtsdatum,-ort	02.02.1987, Hagen
Familienstand	verheiratet

Schulbildung

1993 - 1997	Grundschule Breckerfeld
1997 - 2003	Reichenbach Gymnasium Ennepetal
2003 - 2006	Hildegardis Schule Hagen

Abschluss: Allgemeine Hochschulreife (17.06.2006)

Hochschulstudium

2006 - 2012	Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
20.08.2008	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
20.11.2012	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Promotion

2009 - 2016	Doktorandin der Klinik für Neurologie des UK-SH Campus Kiel
-------------	---

Berufliche Tätigkeit

04/2013-02/2014	Assistenzärztin der Abteilung für Geriatrie des AK Nord Ochsenzoll
Seit 03/2014	Assistenzärztin der Abteilung für Innere Medizin und Kardiologie an der Mariahilf Klinik Hamburg

Hamburg, den 05.10.2016