

**Aus dem Institut für Neuroendokrinologie**

**der Universität zu Lübeck**

**kommissarischer Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. Hendrik Lehnert**

---

## **Gedächtnisreaktivierung und Interferenz im Schlaf**

Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Sektion Medizin -

vorgelegt von

Florian Hobrack

aus Hannover

Lübeck 2014

1.       Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Jan Born
2.       Berichterstatter: Prof. Dr. med. Detlev Nutzinger

Tag der mündlichen Prüfung: 13.04.2016

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 13.04.2016

Promotionskommission der Sektion Medizin

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Schlaf .....	7
1.2 Schlafprofil .....	11
1.3 Gedächtnis .....	11
1.4 Gedächtnissysteme.....	13
1.5 Das olfaktorische System.....	14
1.6 Schlaf und Gedächtnis .....	16
1.7 Duft, Schlaf und Gedächtnis .....	18
1.8 Labilisierung von Gedächtnisengrammen .....	20
1.9 Schlaf und Interferenz.....	21
1.10 Fragestellung.....	22
<b>2. Methoden .....</b>	<b>23</b>
2.1 Versuchspersonen .....	23
2.2 Design .....	23
2.3 Materialien .....	24
2.3.1 Memory.....	24
2.3.2 Stanford Schläfrigkeitsskala .....	26
2.3.3 Fragebogen zur Befindlichkeit.....	26
2.3.4 Regensburger Wortflüssigkeitstest .....	26
2.3.5 Vigilanztest .....	26
2.3.7 Olfaktometer .....	27
2.3.8 Polysomnographie .....	27
2.3.9 Versuchsablauf.....	28
2.4 Statistische Analyse .....	31
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>32</b>
3.1 Probanden .....	32
3.2 Memory.....	32
3.2 Vigilanztest .....	35

3.3 Schläfrigkeit.....	37
3.4 Wortflüssigkeit.....	38
3.5 Befindlichkeit.....	39
3.6 Schlafdaten.....	42
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>44</b>
<b>5. Zusammenfassung .....</b>	<b>52</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>61</b>
Verzeichnis der Abbildungen .....	61
Probanden Selbstauskunft und rechtlicher Hinweis .....	63
Fragebogen zu Tagesaktivitäten und Schlafqualität .....	64
Fragebogen zur Befindlichkeit.....	66
Stanford Schläfrigkeitsskala .....	67
Regensburger Wortflüssigkeits- Test.....	68
Fragebogen zu Probandendaten .....	69
<b>8. Danksagungen .....</b>	<b>70</b>
<b>9. Lebenslauf.....</b>	<b>71</b>

## Abkürzungsverzeichnis

C3, C4	Central 3, 4 (Elektroden in Kopfmitte nach dem internationalen 10-20 System)
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
e.c.	electronic cash
EEG	Elektroenzephalographie
EKP	ereigniskorreliertes elektrisches Potential
EMG	Elektromyogramm
etc.	et cetera
F3, F4	Frontal 3, 4 (Elektroden frontal nach dem internationalen 10-20 System)
EOG	Elektrookulogramm
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
ggf.	gegebenenfalls
GRND	ground (Erdungselektrode)
Hz	Hertz
IBA	Isobutyraldehyd
kg	Kilogramm
M	Movement: Bewegung während des Schlafs
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
min	Minuten
ml	Milliliter
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunde
$\mu$ V	Mikrovolt
Nr.	Nummer
NREM	Non Rapid Eye Movement (keine schnellen Augenbewegungen)
o.ä.	oder Ähnliches
P3, P4	Parietal 3, 4 (Elektroden parietal)
PET	Positronen-Emissions-Tomographie

REF	Referenzelektrode
REM	Rapid Eye Movements (schnelle Augenbewegungen)
RWT	Regensburger Wortflüssigkeits-Test
S1, S2, S3, S4	Schlafstadium 1-4
s.	siehe
s u.	siehe unten
SWA	Slow Wave Activity
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
z.B.	zum Beispiel
ZNS	zentrales Nervensystem
z.T.	zum Teil

# 1. Einleitung

*„Der Morgen ist klüger als der Abend“ - „Schlaf des Vergessens“*

Es gibt Redewendungen, die in weiten Teilen der Welt gebräuchlich sind, ohne dass ihr Ursprung bekannt ist. So wird oft der Rat erteilt eine Nacht „darüber“ zu schlafen oder geäußert, dass der Morgen klüger als der Abend sei. Hintergrund ist die Hoffnung nach einer schlafintensiven Nacht Lösungen für bestehende Probleme zu finden. Gleichzeitig ist auch der Ausspruch „Schlaf des Vergessens“ verbreitet, wie etwa in Goethes Faust als „Heilschlaf des Vergessens“ bezeichnet. Er fußt auf der Annahme durch den Schlaf vorangegangene (negative) Ereignisse nicht mehr zu erinnern bzw. erinnern zu müssen. Welche Funktion der Schlaf auf unser Gedächtnis ausübt, zeigte sich jedoch am eindrucksvollsten erst im 20. Jahrhundert. Die neuen bildgebenden Verfahren wie Magnetresonanztomographie, Positronen-Emissions-Tomographie oder auch das Elektroenzephalogramm erlaubten einen Blick auf die aktiven Vorgänge in unserem Zentralen Nervensystem. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Zusammenhängen des Schlafes, des Gedächtnisses und olfaktorischer Reize auf das Festigen oder Vergessen von Erlerntem und soll einen Beitrag leisten, unser Gedächtnissystem weiter zu begreifen.

## 1.1 Schlaf

Schlaf ist ein sich wiederholender Vorgang, bei dem sich die Körperfunktionen ändern, die Bewusstseinslage herabsetzt und eine Erholungsphase für den Gesamtorganismus beginnt.

Der sogenannte Wach-Schlaf Rhythmus folgt dabei einer zirkadianen Periodik, wobei während des Schlafens verschiedene Schlafstadien durchlaufen werden. Die Formatio Reticularis steuert diesen Rhythmus und die Ausschüttung verschiedener Hormone, welche den Wach- bzw. Schlafzustand beeinflussen.

Die verschiedenen Stadien des Schlafes können mit Hilfe eines EOG, EEG und EMG nach standardisierten Kriterien (Rechtschaffen und Kales, 1968) eingeteilt werden. Als grobe Unterteilung kann man den Schlaf in NonREM-Schlaf und REM-Schlaf

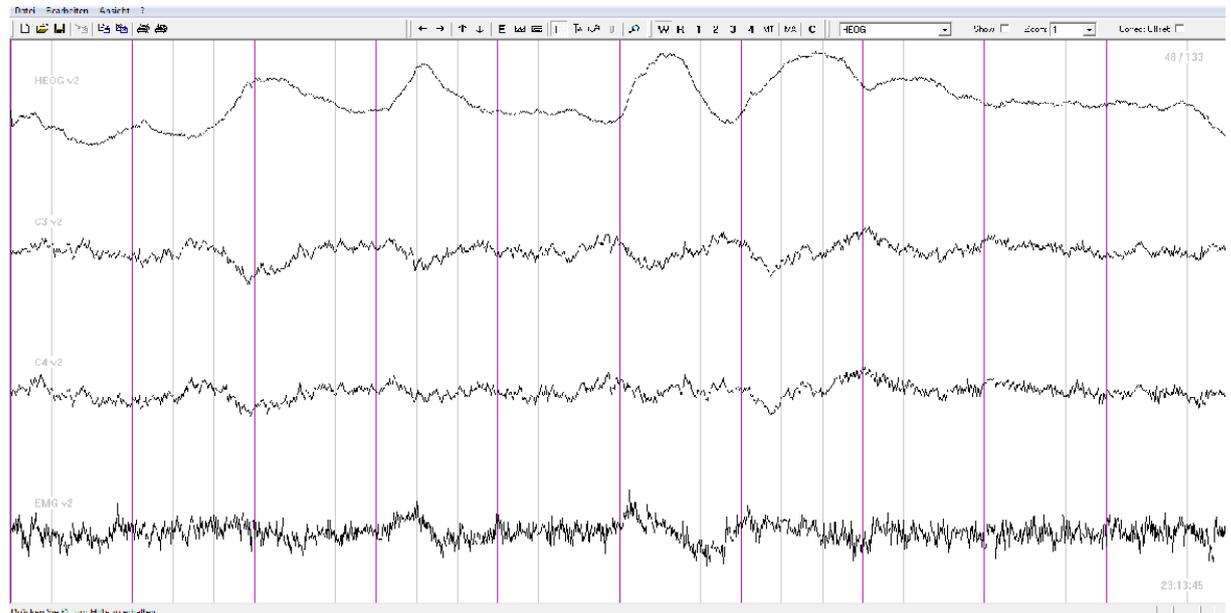
unterteilen. Der REM–Schlaf ähnelt sehr dem Wachzustand und wird daher auch paradoxer Schlaf genannt.

In diesem Schlafstadium nehmen Puls, Atemfrequenz und Blutdruck zu, ebenso steigt die Hirnaktivität gegenüber der NonREM–Phase an, jedoch nicht auf das gleiche Niveau wie während des Wachzustandes (Maquet et al., 2000). Hobson zeigte in einer Studie, dass das Gehirn im Schlaf 80% der Aktivität gegenüber dem Wachzustand hat, und somit im Schlaf aktiver ist als zuvor angenommen wurde (Hobson 2005).

Der NonREM–Schlaf wird zunächst nochmals in 4 weitere Stadien des Schlafes unterteilt. Die Stadien 1+2 werden als leichter Schlaf bezeichnet, wohingegen die Phasen 3+4 die Tiefschlafphasen darstellen.

### Stadium 1

Der Übergang vom Wachzustand in den Schlaf wird als erstes Schlafstadium bezeichnet. Kennzeichnend für dieses Stadium sind ein langsames Augenrollen bei sinkender Muskelaktivität und eine Erniedrigung der Atemfrequenz und des Pulses. Im EEG werden die Alphawellen (8-13Hz) durch Thetawellen (4-7 Hz) ersetzt (s. Abbildung 1).

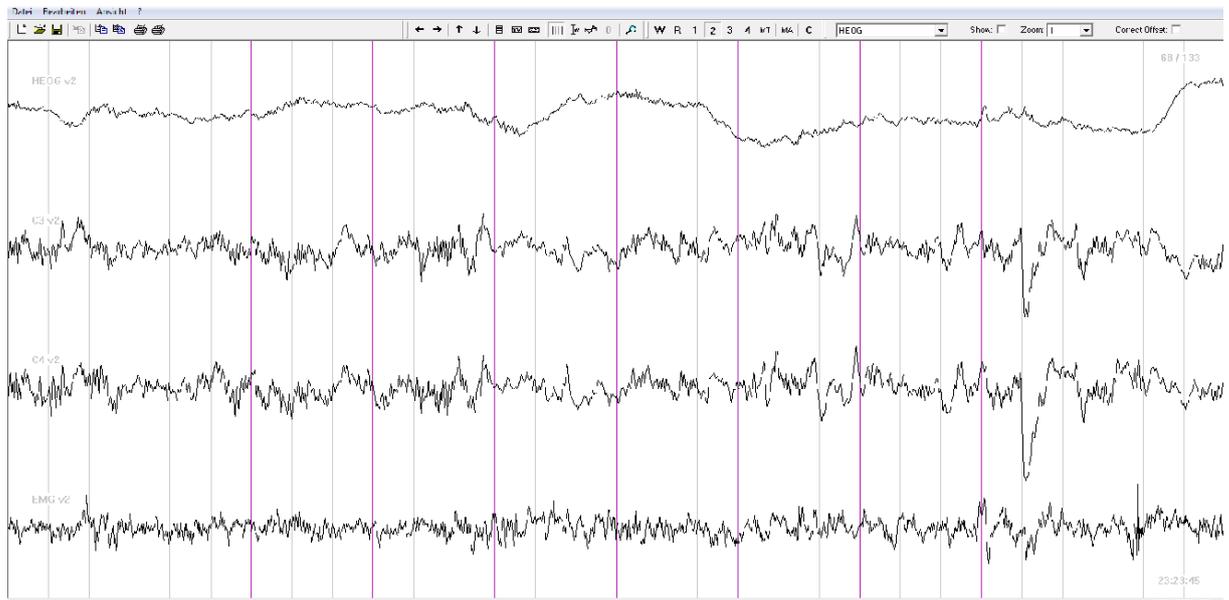


**Abbildung 1:** Schlafstadium 1 mit sichtbarer Alpha- und Thetawellen-Aktivität in den beiden mittleren Abteilungen

### Stadium 2

Im Gegensatz zum ersten Stadium finden im zweiten Stadium keine Augenbewegungen statt. In diesem Stadium des leichten Schlafes finden sich im EEG vermehrt K–

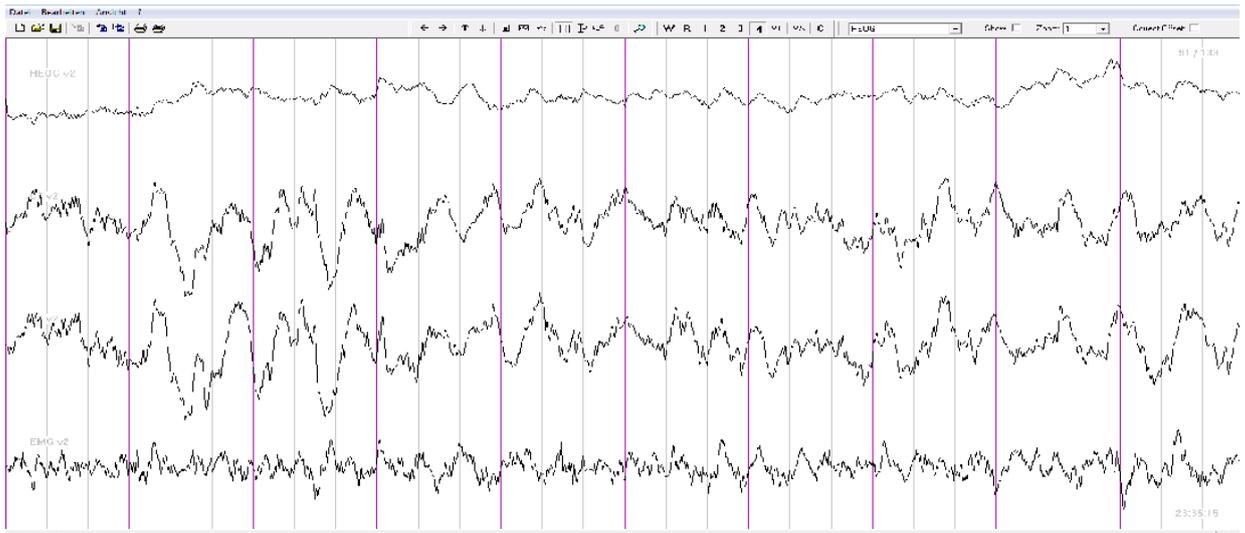
Komplexe und Schlafspindeln (s. Abbildung 2). Der Muskeltonus ist in diesem Schlafstadium gegenüber dem Wachzustand stark herabgesetzt.



**Abbildung 2:** Schlafstadium 2  
mit erhöhter Spindelaktivität

### Stadium 3 und 4

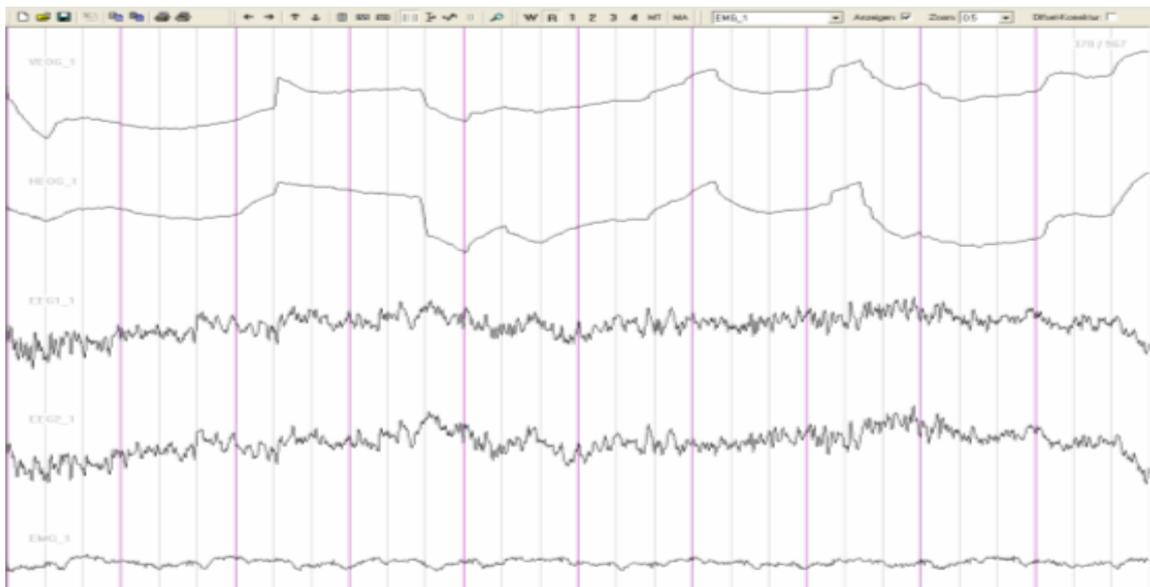
Die Stadien 3 und 4, bei denen sich im EEG langsame Wellen mit hoher Amplitude zeigen, werden als Tiefschlafphasen bezeichnet. Diese sogenannten Delta-Wellen haben eine Frequenz von 0.5 – 4 Hz. Zeigen 20 – 50 % der gemessenen Hirnaktivität Delta-Wellen, spricht man vom Stadium 3, bei über 50 % gemessener Delta-Wellen dementsprechend vom Stadium 4 (s. Abbildung 3). Hierbei sind Muskelaktivität und Augenbewegungen stark reduziert.



**Abbildung 3:** Schlafstadium 3 und 4  
mit deutlich sichtbaren Deltawellen in den beiden mittleren Abteilungen

### REM – Schlaf

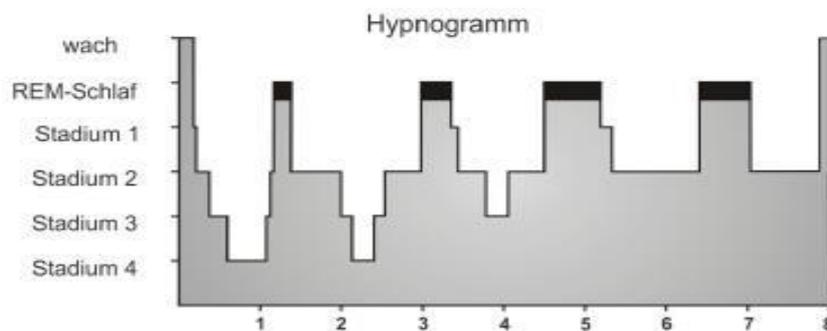
Der REM-Schlaf stellt eine besondere Art des Schlafes dar, da er dem Wachzustand ähnelt. Im EEG finden sich Beta-Wellen (13 – 30Hz), Gamma-Wellen (30Hz), Alpha-Wellen und Theta-Wellen. Typisch für dieses Stadium sind die schnellen Augenbewegungen, nach der diese Phase, in der der Muskeltonus stark herabgesetzt ist, benannt wurde (s. Abbildung 4).



**Abbildung 4:** REM-Schlaf  
EOG: Charakteristische, schnelle abgehackte Augenbewegungen, EEG: Gleichförmig mittlere Frequenz und niedrige Amplituden, EMG: keine Muskelaktivität

## 1.2 Schlafprofil

Beim Schlafprofil handelt es sich um eine festgelegte zeitliche Abfolge der Schlafstadien. Der Zeitraum vom Löschen des Lichts bis zum Einsetzen des ersten Schlafstadiums wird Schlaflatenz genannt. Der Übergang vom ersten zum zweiten Schlafstadium dauert nicht lang, wobei zwischen diesem leichten Schlaf und dem Erreichen der ersten Tiefschlafphasen (Stadium 3 und 4) ein zeitliches Intervall von ca. 5 bis 30 min liegt. Die erste Tiefschlafphase dauert zwischen 20 und 40 min. Nach ca. 60 – 90 min beginnt die erste REM-Schlafphase. Dieser Vorgang wiederholt sich zyklisch (5 – 7 Zyklen) während des gesamten Schlafes, wobei die REM-Phasen im Laufe der Nacht an Länge zunehmen, während die Tiefschlafphasen zum Morgen hin kürzer werden (s. Abbildung 5). Ein Zyklus dauert ungefähr 90 – 100min. Neben dem Schlafstadium, das den Großteil des Schlafes ausmacht (45 – 55%), treten einige Wachphasen während des Schlafes auf. Die Erinnerungen an diese sind in der Regel am nächsten Morgen nicht mehr abrufbar (Borbély 2004, Schmidt et al. 2005).



**Abbildung 5:** Typisches Schlafprofil  
(aus <http://www.klartraum.de>): Dargestellt ist die Folge der Schlafstadien während einer Nacht. Auf der x-Achse ist die Zeit in Stunden aufgetragen.

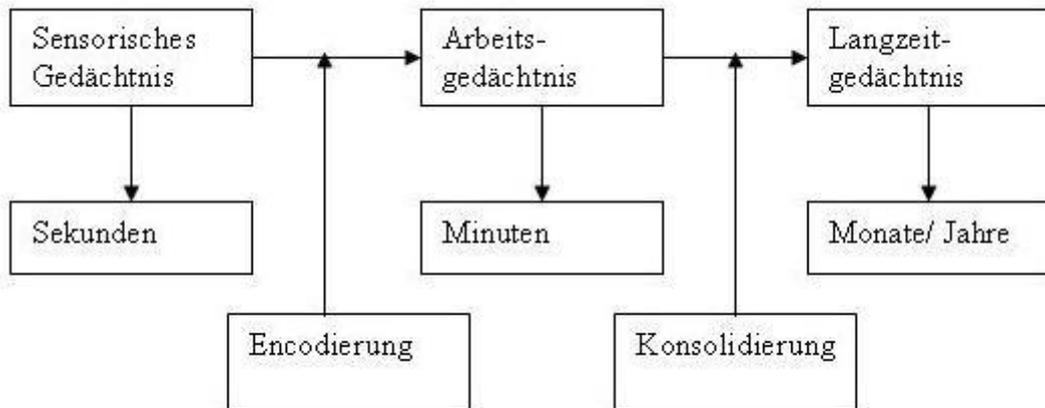
## 1.3 Gedächtnis

Unter dem Gedächtnis versteht man die Fähigkeit des Nervensystems, Informationen zu speichern, zu ordnen und wieder abzurufen. Eine Information erhält dafür ein eigenes Netzwerk an synaptischen Verbindungen, welches über eine dauerhafte Abgabe von Aktionspotentialen aufrechterhalten wird. Ist dieses Netzwerk beispielsweise ein Wort, welches man aussprechen möchte, so leitet das entsprechend angelegte Netzwerk ein Signal an alle Bereiche wie Muskelgruppen weiter, damit das Wort ausgesprochen wird.

Diese Netzwerke entstehen bei allen neu gewonnenen Informationen und müssen regelmäßig aktiviert werden, um die darin enthaltene Information zu festigen (LTP = long term potentiation). Netzwerke, die nicht im regelmäßigen Gebrauch sind, lösen sich auf und die darin enthaltene Information geht verloren (LTD = long term depression). Dieser ständig ablaufende Umbau wird synaptische Plastizität genannt. Auf der Ebene der Synapsen unseres Zentralen Nervensystems ist „Lernen“ das Neuerschalten eines Netzwerkes.

Die aufgenommenen Informationen durchlaufen dabei mehrere Instanzen bevor sie im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden. Als Erstes erreichen die Informationen das Sensorische Gedächtnis (Ultrakurzzeitgedächtnis), in welchem sie für einen kurzen Moment ( $< 1\text{sek}$ ) abgespeichert werden. Nur ein kleiner Teil dieser Informationen erreicht das Arbeitsgedächtnis (Kurzzeitgedächtnis), während die übrigen Informationen verloren gehen. Das Arbeitsgedächtnis ist in der Lage bis zu  $7 \pm 2$  Informationen gleichzeitig für einen Zeitraum von wenigen Sekunden bis Minuten abzuspeichern (Miller, 1956). Die meisten dieser Daten werden daher überschrieben und nur ein geringer Teil an das Langzeitgedächtnis weitergegeben. Die Weitergabe der Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis wird Konsolidierung genannt. Das Langzeitgedächtnis ist nun im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis in der Lage, große Datenmengen über einen langen Zeitraum (mehrere Jahre) im Gedächtnis zu behalten und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzurufen (s. Abbildung 6).

Die Gedächtnisbildung wird demnach in drei Stadien eingeteilt: Die Encodierung, also der eigentliche Lernprozess zwischen dem sensorischem Gedächtnis und dem Arbeitsgedächtnis, gefolgt vom Prozess der Konsolidierung und zu guter Letzt das Abrufen gefestigter Informationen aus dem Langzeitgedächtnis (Rosenzweig et al., 2005).



**Abbildung 6:** Gedächtnismodell

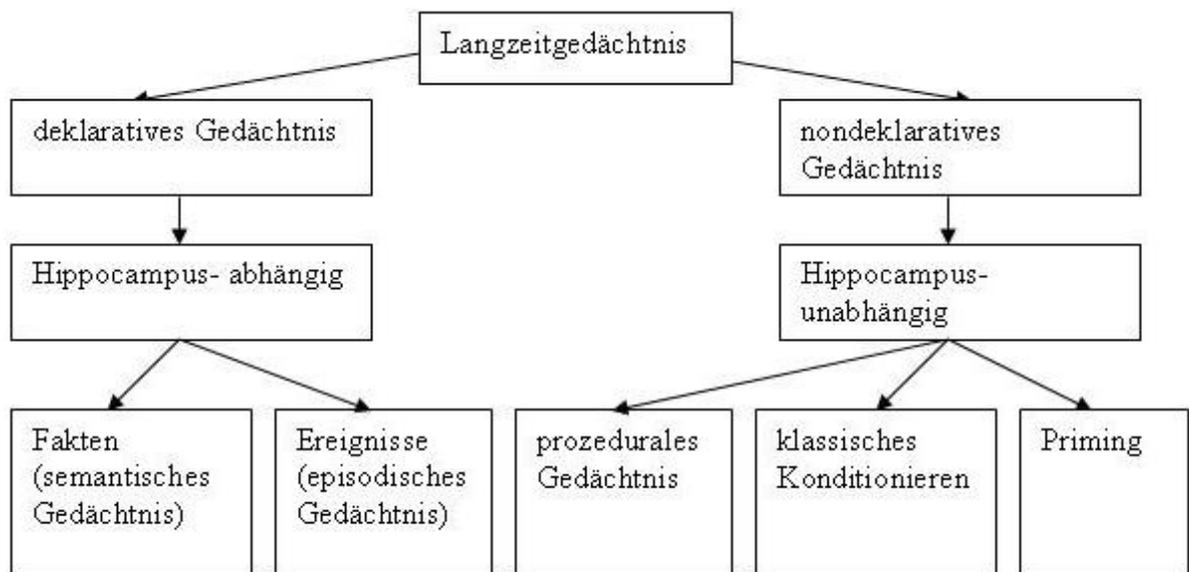
## 1.4 Gedächtnissysteme

Die Aufnahme von Informationen ist die Folge von bewussten oder unbewussten Lernprozessen, wobei die Fähigkeit zur Gedächtnisbildung Ausdruck der Plastizität von neuronalen Netzwerken ist. Man unterscheidet zunächst drei Arten des Gedächtnisses, wobei die Dauer der Speicherung der Informationen eine Rolle spielt. Das sensorische Gedächtnis hält die gewonnenen Informationen nur für wenige Sekunden im Speicher fest, während das Kurzzeitgedächtnis die Information für einige Minuten festhält. Informationen über Jahre können schließlich im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. Das sensorische Gedächtnis ist für jeden der Sinne spezifisch, so beinhaltet das ikonografische Gedächtnis beispielsweise das visuelle System und das echoische Gedächtnis das auditive System.

Während eine bewusste Wahrnehmung der Informationen für das sensorische Gedächtnis nicht notwendig ist (George Sperling 1960 und Darwin 1972), ist das Kurzzeitgedächtnis das vermeintliche Zentrum der bewussten Informationsverarbeitung, wobei es über eine begrenzte Speicherkapazität verfügt (Miller 1956). In neueren Modellen wird es auch Arbeitsgedächtnis genannt, in welchem von einer zentralen Exekutive aus die Prioritäten der drei Untergruppen, des räumlich-visuellen Notizblocks zur kurzfristigen Speicherung visueller Eindrücke, der artikulatorischen Schleife zur Speicherung von verbalen Informationen und des episodischen Puffers, welcher sowohl auditive, als auch visuelle Information abspeichern kann, gesteuert werden. (Baddeley, 2000).

Nach Squire und Zola (1996) und Squire (1992) werden verschiedene Subsysteme des Langzeitgedächtnisses unterschieden. Zum einen existiert ein explizites (deklaratives) Gedächtnis, in welchem Fakten (semantisches Wissen) und Erlebnisse (episodisches Wissen) abgespeichert und bewusst wiedergegeben werden können. Zum anderen werden erlernte Fähigkeiten und Ergebnisse von Konditionierung und Priming im nondeklarativen Gedächtnis erfasst. Diese erlernten Fähigkeiten können unbewusst wiedergegeben werden, wie z. B. das Fahrradfahren (s. Abbildung 7).

Diese beiden Gedächtnissysteme sind im Gehirn räumlich getrennt und unabhängig voneinander. Während das Abspeichern von Informationen über das deklarative Gedächtnisses eine intakte Hippokampusfunktion voraussetzt, ist das nondeklarative Gedächtnis hauptsächlich in den Basalganglien und im Kleinhirn lokalisiert und funktioniert größtenteils Hippokampus-unabhängig.



**Abbildung 7:** Subsysteme des Langzeitgedächtnisses  
(vereinfacht nach Squire und Zola, 1996)

## 1.5 Das olfaktorische System

Um die zehn Millionen Riechzellen befinden sich beim Menschen auf der Nasenscheidewand und der oberen Nasenmuschel. Nachdem ein Molekül aus der Atemluft an eine olfaktorische Zilie gebunden hat, wird zunächst ein chemischer Reiz ausgelöst. Die Folge dieses chemischen Reizes ist die Entstehung eines elektrischen Potentials, welches über axonale Fortsätze weitergeleitet wird.

Diese axonalen Fortsätze werden Fila olfactoria genannt und treten durch die Lamina cribrosa in die vordere Schädelgrube ein, wo sie den Bulbus olfactorius erreichen. Die Gesamtheit aller Fila olfactoria wird als Nervus olfactorius bezeichnet. Im Bulbus olfactorius werden über 1000 primäre sensorische Zellen in den Glomeruli mit jeweils einer Mitralzelle verschaltet. Von hier aus werden die elektrischen Potentiale über den Tractus olfactorius in den olfaktorischen Kortex weitergeleitet.

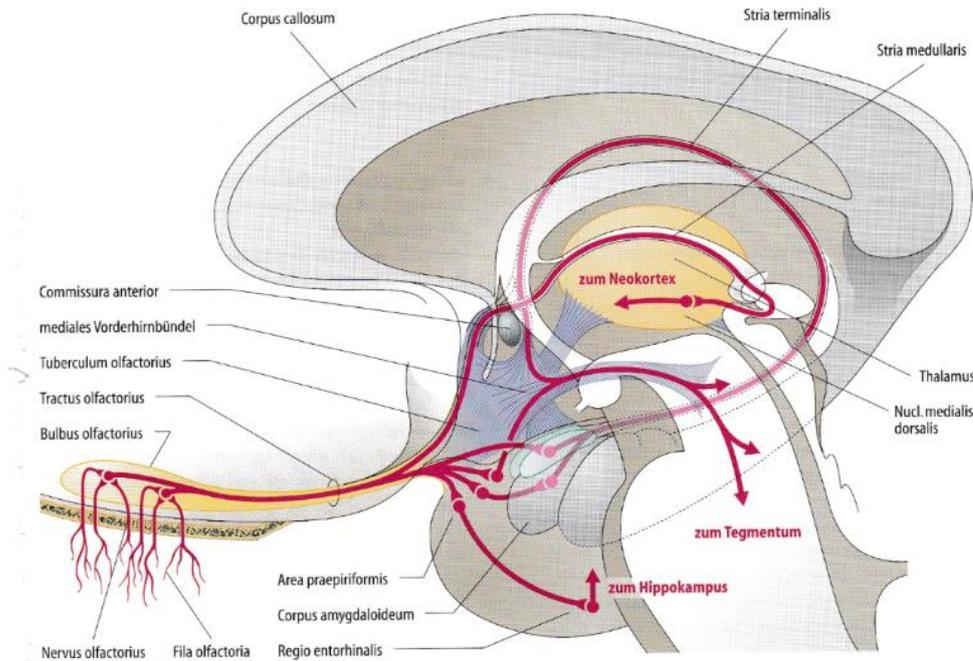
Der olfaktorische Kortex teilt sich im Trigonum olfactorium in eine Stria medialis und eine Stria lateralis. Die Stria medialis zieht in die Area septalis und ins tuberculum olfactorium, während die Stria lateralis in den Präpiriformen Kortex (primäre Riechrinde), den Entorhinalen Kortex und in den Corpus amygdaloideum zieht. Der Bulbus olfactorius enthält außerdem den Nucleus olfactorius anterior, welcher die elektrischen Potentiale verschaltet und zum kontralateralen olfaktorischen Kortex weiterleitet (s. Abbildung 8). Zusätzlich werden die aufgenommenen Gerüche über den Thalamus in den sekundären olfaktorischen Kortex (ipsilaterale Neokortexareale) weitergegeben, wo sie erkannt, interpretiert und über weitere Verbindungen zum Hypothalamus, welcher vegetative und affektive Reaktionen auslöst, fortgeleitet werden. Die gefühlten Emotionen und die verhaltensbeeinflussende Komponente werden durch die enge Beziehung der Riechbahn mit dem limbischen System erzeugt.

Ein Teil des limbischen Systems ist der Hippokampus, welcher eine wichtige Rolle bei der Gedächtnisbildung innehat. Um einen Duft wahrzunehmen, sind verschiedene Faktoren von Bedeutung. Zunächst ist die Höhe der Konzentration, um eine entsprechende Reaktion auszulösen, von Duft zu Duft unterschiedlich. Zudem gibt es innerhalb eines Duftes jeweils zwei verschiedene Konzentrationsschwellen. Bei sehr geringen Konzentrationen wird der Duft lediglich wahrgenommen, diese Konzentrationsschwelle wird auch unspezifische Entdeckung – oder Absolutschwelle genannt. Um einen Duft aber zu erkennen und ggf. zu benennen, sind viel höhere Konzentrationen notwendig (Erkennungsschwelle der spezifischen Geruchswahrnehmung) (Trepel, 2004; Thews et al., 1999).

Die Bekanntheit eines Duftes stellt einen zusätzlichen Faktor der Geruchswahrnehmung dar (Erkennungsschwelle der spezifischen Geruchswahrnehmung; Thews et al., 1999; Trepel, 2004; Boenninghaus und Lenarz, 2007).

Wirkt ein Duft über lange Zeit mit gleichbleibender Konzentration auf die Sinneszellen, führt dies zu einer Adaptation und somit zu einer Abnahme der Wahrnehmung. Diese Reaktion ist sowohl auf die Sinneszellen als auch auf zentrale Prozesse zurückzuführen,

wobei die Empfindlichkeitsabnahme zwischen 20 und 60 Prozent liegt (Hummel et al., 1996).



**Abbildung 8:** Die olfaktorischen Bahnen

## 1.6 Schlaf und Gedächtnis

Harrison und Horne zeigten, dass Schlafentzug eine Verschlechterung des Gedächtnisses bewirkt (Harrison und Horne, 2000). Darüber hinaus konnte in zahlreichen Studien gezeigt werden, dass Schlaf die Gedächtnisbildung positiv beeinflusst. Es ist bekannt, dass Lernen und anschließendes Schlafen eine bessere Festigung der Gedächtnisspuren bewirkt als Lernen und anschließendes Wachbleiben (Born & Plihal, 2000; Peigneux et al., 2001; Smith, 2001).

Besonders der Tiefschlaf (SWS) beeinflusst die Konsolidierung, also das Weitergeben von Gelerntem aus dem Kurzzeitgedächtnis an das Langzeitgedächtnis, da es während dieser Schlafphase zur neuronalen Reaktivierung im Hippocampus kommt (Rasch und Born, 2008) und so die Umverteilung der Gedächtnisinhalte im Neokortex stimuliert wird (Maquet, 2001). Umso kürzer das Intervall zwischen dem Lernen und dem Schlafen ist, desto besser ist die anschließende Konsolidierung (Gais et al 2006,

Learning & Memory). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die Konsolidierung neben der langfristigen Speicherung auch eine Reorganisation, also das Einbinden von Gelerntem in einen höheren Kontext, bewirkt (Fischer et al., 2005, Takashima et al. 2006). Während der Enkodierung sind prefrontale-hippocampale Schaltkreise aktiv, die auch während der Schlafphase aktiv sind (Born et al. 2006). Wilson und McNaughton bestätigten dies, indem sie aufzeigten, dass das Gehirn während des Lernens und des Schlafens ähnliches Aktivitätsmuster zeigt (Wilson und McNaughton 1994). Sie ermittelten, dass die beim Lernen aktivierten Nervenzellen während der Tiefschlafphase eine verstärkte Aktivität aufwiesen.

Auch Jenkis und Dallenbachs Forschungsergebnisse ergaben, dass vor einer Schlafphase Erlerntes wesentlich erfolgreicher im Gedächtnis erhalten bleibt als Erlerntes, bei dem sich der Proband nach dem Lernprozess im Wachzustand befand (Jenkis und Dallenbach 1924).

Plihal und Born erwiesen später, dass die Konsolidierung des deklarativen Gedächtnisses hauptsächlich in der durch Tiefschlaf geprägten ersten Nachthälfte stattfindet, während die zweite Nachthälfte mit den vermehrten REM-Phasen einen größeren Effekt auf die Konsolidierung des nondeklarativen Gedächtnisses hat. Zu erklären ist dies am ehesten durch die während der Tiefschlafphase zu beobachtende slow wave activity (SWA), welche sich, wie oben bereits erwähnt, durch eine sehr niedrige Frequenz auszeichnet, und einen positiven Effekt auf die Weitergabe der Informationen ins Langzeitgedächtnis hat. Diese konnte zunächst durch mehrere Tierexperimente nachgewiesen werden (Pavlides und Winson, 1989; Wilson und McNaughton, 1994). Die Reaktivierung bei Ratten, die ein räumliches Training im Labyrinth absolvierten, konnte vorzugsweise im darauffolgenden Tiefschlaf festgestellt werden (Wilson und McNaughton, 1994). Neuronenverbände verschiedener Cortexareale, die bei der vorausgegangenen Lernphase im Wachzustand an der Enkodierung der Informationen beteiligt waren, waren auch im nachfolgenden Tiefschlaf wieder gemeinsam aktiv (Wilson und McNaughton, 1994; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasdy et al., 1999; Louie und Wilson, 2001).

Maquet et al. untermauerten dies in einer in einer humanexperimentellen Studie im Jahr 2000, bei der mittels Positronen-Emissions-Tomographie (PET) ermittelt wurde, dass die gleichen Areale im Gehirn, die während einer Lernphase aktiv sind, im nachfolgenden Schlaf eine stärkere Aktivität zeigen.

Neben der SWA hat jedoch auch die Spindelaktivität bei diesem Prozess eine wichtige Rolle inne (Gais et al., 2002). Sie ist, wie oben beschrieben, am häufigsten im Schlafstadium 2 anzusiedeln. Die Spindelaktivität erstreckt sich vom Thalamus bis zum Neokortex, was, wie Born 2006 zeigte, die Plastizitätsprozesse und damit die Integration der Erinnerungen in das Netzwerk unterstützt (Born et al., 2006). Auch im Alltag ist dies durchaus zu beobachten: Im Alter verändert sich unser Schlaf dahingehend, dass die langen Tiefschlafphasen mit den dazugehörigen SWS in der ersten Nachthälfte deutlich abnehmen, während gleichzeitig auch die Gedächtnisleistung im Alter abnimmt (Backhaus et al., 2007). Bei der Festigung von Gedächtnisengrammen spielt auch das endokrine System eine nicht unerhebliche Rolle. Die hypothalamisch-hypophysäre-adrenokortikale (HPA)-Aktivität steuert den Cortisolspiegel, welcher die Konsolidierung des deklarativen und nondeklarativen Gedächtnisses mitbestimmt. Während des NREM-Schlafes befindet sich der Cortisolspiegel im Blut auf einem Minimum, indes im Verlauf der REM-Phase ein deutlich erhöhter Cortisolspiegel auftritt. Umgekehrt bedeutet dies, dass es, bei einer Erhöhung des Cortisolspiegels in der ersten Nachthälfte, zu einer Verschlechterung der Konsolidierungsprozesse deklarativer Inhalte kommt (Plihal et al., 1999; Born und Fehm, 2000). Ähnlich verhält es sich mit dem neuronalen Transmitter Acetylcholin. Eine erhöhte cholinerge Aktivität in der ersten Nachthälfte, während der vermehrten SWA, verschlechtert die Konsolidierungsprozesse deklarativer Gedächtnisinhalte. Um daher eine möglichst optimale Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte zu erreichen, sollte während der Tiefschlafphasen ein möglichst niedriger Acetylcholin- und Cortisolspiegel herrschen (Rasch und Born, 2008).

## **1.7 Duft, Schlaf und Gedächtnis**

Das olfaktorische System gehört zu den ältesten Regionen unseres zentralen Nervensystems und übt einen nicht unwesentlichen Einfluss auf unser Gedächtnis aus. Rasch et al. konnten dies 2007 in einer Studie belegen. Während des Lernens wurde den Probanden ein Rosenduft über eine Geruchsmaske präsentiert und sofort wieder abgeschaltet, wenn der Lernvorgang beendet war. Während der nun folgenden Nacht wurde mit Beginn des Tiefschlafs den Probanden der gleiche Duft wieder über eine

Maske präsentiert. Am darauf folgenden Morgen wurden die Probanden über das am Abend Erlernte abgefragt. Der gleiche Versuchsaufbau wurde mit einer Kontrollgruppe, die im Schlaf keinen Duft präsentiert bekommen hatte, durchgeführt. Das Ergebnis war eine wesentlich bessere Konsolidierung der Gedächtnisinhalte der Duftgruppe gegenüber der Kontrollgruppe.

Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass es zu diesem Effekt nur während der Tiefschlafphasen, der SWS, kommt und sich so speziell auf deklarative Gedächtnisinhalte bezieht. Unterstützt wurden diese Befunde durch das bildgebende Verfahren der Kernspintomographie, eine Schnittbildgebung, welche die Hirnaktivität mittels Magnetfeldern darstellt. Während der Präsentation des Duftes in der Tiefschlafphase, zeigte sich eine erhöhte Aktivität im Bereich des Hippokampus, welcher, wie oben beschrieben, einen wichtigen Stellenwert in der Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte einnimmt.

Die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte kann in mehrere Schritte unterteilt werden, wie Frankland und Bontempi 2005 beschrieben. Zunächst erfolgt die synaptische Modifikation im Wach-Zustand, ein schneller Vorgang, der sich innerhalb weniger Stunden vollzieht. Die aufgenommenen Informationen gelangen über die verschiedenen Anteile des Cortexes zum Hippokampus, wo sie abgespeichert werden. Während des nun folgenden Schlafes werden die Informationen reaktiviert, es erfolgt die Systemische Konsolidierung, was zu einer Festigung der Informationen im Neocortex für einen längeren Zeitraum führt. Gegenüber der synaptischen Modifikation ist die Systemische Konsolidierung ein wesentlich zeitintensiverer Vorgang.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die tagsüber gesammelten Informationen temporär im Hippokampus festgehalten werden (durch synaptische Modifikation), während diese Informationen nachts zum Ordnen und zur längerfristigen Aufbewahrung im Neocortex gefestigt werden (durch systemische Konsolidierung)

Dieser Vorgang läuft jedoch nicht passiv ab, sondern ist ein aktiver Prozess, bei welchem es zu einer Reorganisation zu einer Umstrukturierung von frisch encodierten Gedächtnisrepräsentationen kommt (Plihal und Born, 1997; Stickgold et al., 2000; Fischer et al., 2002; Wagner et al. 2004; Rasch und Born, 2007).

Rasch und Born beschrieben diese Systemische Konsolidierung 2007 als eine fortlaufende Festigung von Informationen zu einem Zeitpunkt, in welchem keine neuen Information auf uns einwirken, sie nannten dies eine Off-line Stabilisierung. In jüngster

Zeit konnte gezeigt werden, dass das Weiterleiten von Informationen vom Hippokampus in den Neocortex in weniger als 48 Stunden erreicht werden kann, wenn bereits Schemata für die neu gewonnenen Informationen angelegt worden sind (Tse et al., 2007). Das Gedächtnis kann daher als schrittweiser Vorgang angesehen werden, in welchem neue Informationen mit Hilfe von schon existenten Informationen in neuronale Netzwerke eingebunden werden können (Rasch und Born, 2007).

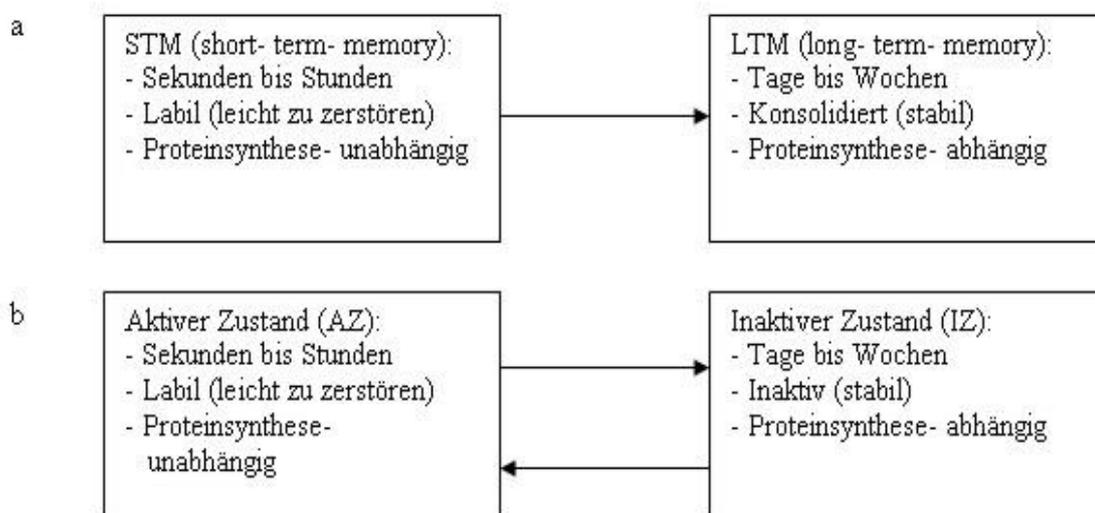
## **1.8 Labilisierung von Gedächtnisengrammen**

Dass Informationen, die sich im Kurzzeitgedächtnis befinden (short-term-memory, STM), labiler sind als jene, die sich nach Konsolidierung im Langzeitgedächtnis befinden (long-term-memory, LTM), wurde schon in der Vergangenheit durch weitere Versuche gezeigt. Probanden, welche kurz nach Erlernen von Informationen Elektroschocks ausgesetzt wurden, zeigten eine hohe Verlustrate der neu gewonnenen Informationen, während die Elektroschocks keinen Einfluss auf das LTM zu haben schienen (Duncan, 1949).

Nader beschrieb 2003, dass die reaktive Gedächtnisspur einer konsolidierten Information im Wachzustand wieder in ihre labile Form überführt werden kann, woraus sich ergibt, dass die Information wieder modifiziert, verstärkt, geändert oder gelöscht werden kann. Diese erneute Konsolidierung von Informationen wird Rekonsolidierung genannt (Spear, 1973; Przybyslawski 1997; Nader et al., 2000) (s. Abbildung 9a und 9b). Nader zeigte ebenfalls, dass die Proteinsynthese sowohl für die Konsolidierung als auch für die Rekonsolidierung von entscheidender Rolle ist (Nader et al., 2000; Nader, 2003). Weiter erwies er, dass das erneute Abrufen von Informationen nach Konsolidierung diese wieder in den labilen Zustand zurückversetzt. Belegt wurde dies durch Nader in einem Tierversuch mit Ratten. Diesen wurde nach Konsolidierung einer Information, die abgerufen wurde, ein Protein-Synthese-Inhibitor (Anisomycin) in den Corpus lateralis des Corpus amygdaloideum injiziert. Bei einer erneuten Abfrage zeigten die Tiere einen Verlust der zuvor gewonnen und konsolidierten Information. Eine Kontrollgruppe, die vor der Injektion nicht abgefragt wurde, zeigte bei späterer Abfrage keinen Verlust der zuvor erlernten Information (Nader et al. 2000). Die Befunde, dass Gedächtnisspeicherung (Konsolidierung), Gedächtnisabfrage und Rekonsolidierung an einem gemeinsamen Prozess teilhaben (Mansuy et al. 1998) sowie dass nach erneuter

Abfrage labil gewordene Informationen erneut gefestigt werden müssen, konnten auch in mehreren anderen Studien bestätigt werden (Przybyslawski 1997; Litvin und Ankohin, 2000).

Nader fasste diese Erkenntnisse 2003 wie folgt zusammen: Die Bildung des Gedächtnisses besteht im hohen Maße aus Konsolidierung und Rekonsolidierung. Während bei der Konsolidierung neu erlernte Informationen gefestigt werden, erfolgt bei der Rekonsolidierung die Festigung von nach dem Abrufen erneut labil gewordener Informationen, nach Reaktivierung im Wachzustand. So kann eine Information zwischen den Zuständen aktiv und labil gegenüber inaktiv und stabil wechseln.



**Abbildung 9a und b: Zwei Modelle der Gedächtnisbildung**

(vereinfacht nach Nader, 2003)

- Dieses Modell zeigt die veraltete Theorie. Einmal im Langzeitgedächtnis gefestigte Gedächtnisinhalte sind dauerhaft stabil und verbleiben dort (Pfeil nur in eine Richtung).
- Konsolidierung und Rekonsolidierung überführen die Informationen Proteinsynthese-abhängig vom Aktiven Zustand in den Inaktiven Zustand. Die Reaktivierung kann diese aber zurück in den Aktiven Zustand befördern (Pfeile in beide Richtungen).

## 1.9 Schlaf und Interferenz

Die Frage, ob eine Interferenz, die im Schlaf gefestigten Informationen der deklarativen Gedächtnisinhalten beeinflusst, wurde 2006 in einer Studie von Ellenbogen et al. untersucht.

Eine Gruppe von Probanden erlernte Wortpaare und legte sich anschließend schlafen, während eine zweite Gruppe wach blieb. Beide Gruppen wurden nach 12 Stunden in zwei weitere Gruppen aufgeteilt, eine Interferenz - und eine Nicht-Interferenzgruppe. Die Interferenzgruppe musste 12 Minuten vor Abfrage eine weitere Wortpaarliste erlernen. Es erfolgte nun die Abfrage aller erlernten Wortpaare der nunmehr vier verschiedenen Gruppen.

Es zeigte sich, dass die neu gelernten Wortpaare bei der Interferenzgruppe, die zuvor geschlafen hatte, keinen Einfluss auf die erste Wortpaarliste hatte. Die Informationen wurden also während des Schlafes so gefestigt, dass neue Informationen sie nicht destabilisieren konnten. Bei der Interferenzgruppe, welche während des Versuchs wach blieb, zeigte sich hingegen ein starker Einfluss der Interferenz -Wortpaare auf die erste erlernte Wortpaarliste. Hier kam es vermehrt zu Überlagerungen der beiden Wortpaarlisten. In der 2011 durchgeführten Studie von Diekelmann wurde dies getestet, indem die Probanden direkt nach der Reaktivierung aus dem Tiefschlaf geweckt wurden und sie eine Interferenzaufgabe lernen mussten. Hier wurde deutlich, dass wie in der Ellenbogen-Studie, die Gedächtnisspuren nach der Reaktivierung (mit Geruch) sogar stabiler waren. Es stellte sich daher die Frage, ob es zum Zeitpunkt der Interferenzgabe, also kurz nach dem Aufwecken, bereits schon wieder zu einer Stabilisierung der zuvor erlernten Gedächtnisspuren gekommen ist. Daher befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Frage, ob die direkte Gabe der Interferenz im Schlaf zu einer verschlechterten Gedächtnisleistung nach dem Schlaf führt.

## **1.10 Fragestellung**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob es durch Gedächtnisreaktivierung im Tiefschlaf zu einer Destabilisierung der Gedächtnisinhalte kommt. Im Gegensatz zu der zuvor genannten Studie von Diekelmann 2011, erfolgt in dieser Studie die Interferenzgabe bereits während des Tiefschlafes, und nicht nach dem Aufwecken aus dem Tiefschlaf. Es wird daher erwartet, dass die Interferenzgabe im Schlaf zu einer verschlechterten Gedächtnisleistung nach dem Schlaf führt, und somit gezeigt werden kann, dass es auch während der Reaktivierung im Schlaf zu einer Labilisierung der Gedächtnisspuren kommt.

## **2. Methoden**

### **2.1 Versuchspersonen**

An der Studie nahmen 12 Probanden/- innen teil, die sich in 5 männliche und 7 weibliche Probanden aufteilten. Diese mussten eine Einverständniserklärung ausfüllen, in der sie der Teilnahme an den Versuchen gegen ein Entgelt zustimmten. Die Probanden befanden sich alle zwischen dem 18. und 30. Lebensjahr und waren ausnahmslos Nichtraucher, die an keiner Grunderkrankung oder einer neurologischen/psychiatrischen Erkrankung litten.

Weitere Voraussetzungen für die Teilnahme an der Studie waren ein regelmäßiger Schlaf–Wach–Rhythmus zwischen 23:00 und 08:00, keine Nachtdienste in den vorherigen drei Wochen und ein intaktes Riechvermögen.

Zusätzlich wurde das Einnehmen von Medikamenten, außer Kontrazeptiva, als Ausschlusskriterium für Probanden festgelegt. Vor der eigentlichen Versuchsnacht verbrachten die Probanden eine Probenacht im Schlaflabor. An den Versuchstagen sollten die Teilnehmer vor 08:00 aufstehen und keinen Mittagsschlaf machen, ab Mittag keine koffeinhaltigen oder alkoholischen Getränke zu sich nehmen und normale Mahlzeiten verzehren. Auch auf das Ausüben außergewöhnlicher körperlicher (z.B. Marathonlauf) und geistiger (z.B. Prüfung) Anstrengungen sollte verzichtet werden. Da diese Studie auch den Einsatz eines Geruches beinhaltet, wurde darauf geachtet, dass die Probanden an den Versuchstagen nicht an einer Erkältung/Schnupfen oder einer akuten Allergie wie Heuschnupfen litten.

### **2.2 Design**

Bei der Studie handelt es sich um ein Within–Subject–Design, wobei die Probanden zwei Schlafnächte absolvieren mussten, welche in einem Mindestabstand von zwei Wochen durchgeführt wurden. Nach dem Prinzip der doppelten Verblindung wurde den Probanden in den Versuchsnächten, während ihrer Tiefschlafphase, entweder der Geruch IBA oder ein Placebo präsentiert.

Diese beiden Bedingungen (Geruch oder Placebo) stellten die unabhängigen Variablen dar, als abhängige Variable wurde die Gedächtnisleistung bestimmt, die mittels eines Memory – Computerprogramm ermittelt wurde. Als Kontrollvariablen wurden der Vigilanztest, der Wortflüssigkeitstest (RWT), die Befindlichkeit und das Schläfrigkeitsgefühl (SSS) verwendet.

## **2.3 Materialien**

### **2.3.1 Memory**

Für die Beurteilung der Gedächtnisleistung wurde am Computer ein Memory mit 15 Bildpaaren benutzt. Das Computerprogramm bestand aus zwei Versionen (Version A1 und B1), welche verschiedene Bilder enthielten. Bei den Bildern handelte es sich immer um Gegenstände (z.B. einen Hammer) oder Tiere (z.B. einen Fisch), die farblich dargestellt waren.

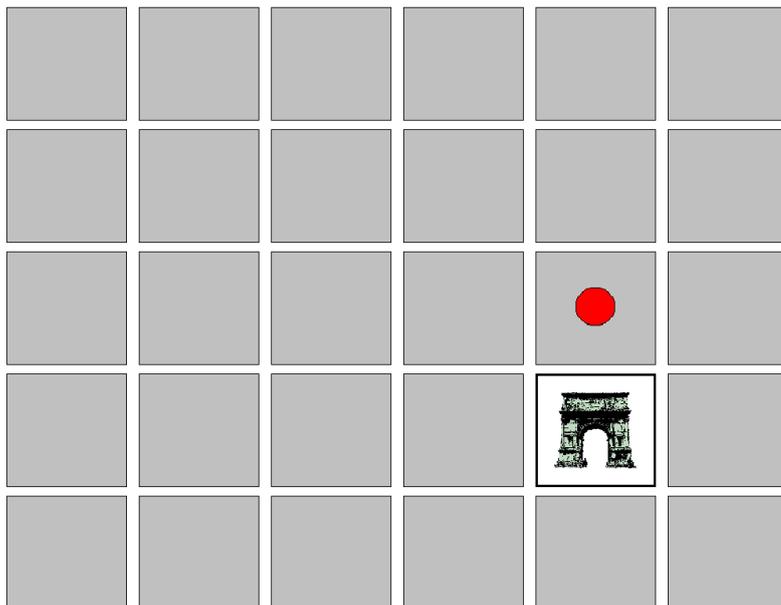
Für jede Version existierte auch ein Interferenz –Memory (Version A2 bzw. Version B2), welches sich dadurch unterschied, dass die erste Karte des gleichen Bildpaares an derselben Stelle stand wie bei dem zuvor erlernten Memory, sich ihr Gegenstück jedoch nun an einer anderen Stelle befand. War z.B. das Bild des Fisches bei der Version A1 an den Stellen X – Y, würde es bei der Interferenzversion A2 an den Stellen X –Z liegen. Um das Memory zu lernen, wurden dem Probanden zunächst die Bildpaare präsentiert (s. Abbildung 11), wobei das Computerprogramm die Bilder des ersten Bildpaars nacheinander aufdeckte, wieder verdeckte und dieses Schema mit den übrigen 14 Bildpaaren fortsetzte. Dieser Vorgang wurde zweimal durchgeführt. Beim Lernen der Memorys A1 bzw. B1 wurde der Geruch zeitgleich mit den zu lernenden Bildpaaren präsentiert.

Im Anschluss wurden Kontrollabfragen durchgeführt, bei denen dem Probanden eine Karte gezeigt wurde, und er das Gegenstück mit dem Mauszeiger markieren musste. Bei einer richtigen Antwort erschien auf der angeklickten Karte ein grüner Haken, während bei einer falschen Antwort ein rotes Kreuz auf der Karte angezeigt wurde. Nach der Antwort der Versuchsperson, wurde die richtige Karte noch einmal aufgedeckt, jedoch nicht das Bild was sich unter der von ihm falsch markierten Karte befand.

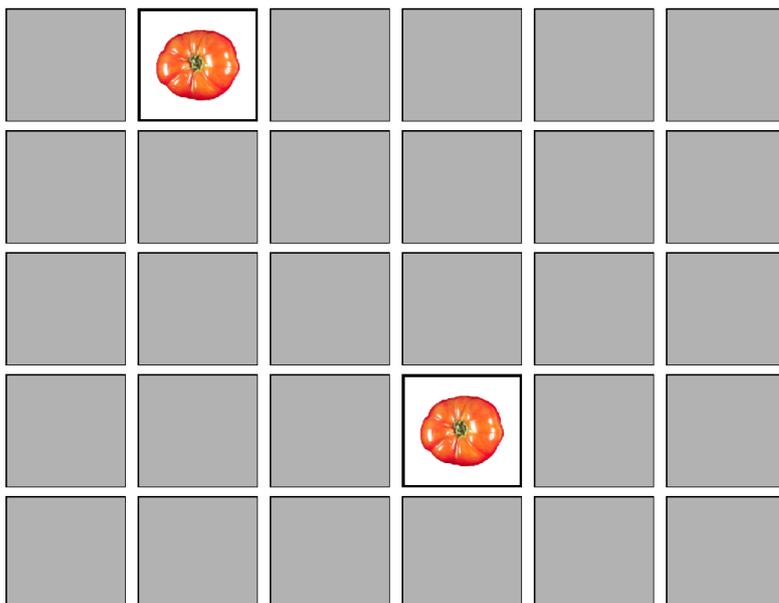
Das Programm führte diese Kontrollabfragen solange durch bis der Proband

mind. 60% der Bildpaare richtig zugeordnet hatte. Die Abfrage des erlernten Memorys erfolgte zu einem im Experiment festgelegten Zeitpunkt.

Diese Abfrage unterschied sich zu den Kontrollabfragen dadurch, dass es nur eine Abfrage gab, es musste also nicht die 60%-Hürde genommen werden. Zudem wurde dem Probanden nicht angezeigt, ob seine Antwort richtig oder falsch ist, sondern lediglich anstelle des grünen Hakens oder des roten Kreuzes ein roter Punkt präsentiert (s. Abbildung 10).



**Abbildung 10:** Memory, Abfragemodus



**Abbildung 11:** Memory, Lernmodus

### **2.3.2 Stanford Schläfrigkeitsskala**

Bei der Stanford Schläfrigkeitsskala handelt es sich um einen Fragebogen, der den Grad der Schläfrigkeit des Probanden, nach eigener Einschätzung, erfasst. Das Schläfrigkeitsgefühl

konnte von 1 (Ich fühle mich aktiv, vital, aufmerksam und hellwach) bis 7 (Ich kann nicht länger gegen den Schlaf ankämpfen, werde bald einschlafen; habe traumähnliche Gedanken) angegeben werden (s. Anhang).

### **2.3.3 Fragebogen zur Befindlichkeit**

Um die aktuelle Befindlichkeit des Probanden zu beurteilen, musste er angeben wie „schläfrig“, „aktiviert“, „angespannt“, „müde“, „gelangweilt“, „motiviert“ und „konzentriert“ er ist. Die Beurteilung erfolgte auf einer Skala von 1 bis 5, wobei „1“ für „gar nicht“ und „5“ für „sehr“ stand (s. Anhang )

### **2.3.4 Regensburger Wortflüssigkeitstest**

Der RWT diente zur Einschätzung der Fähigkeit Inhalte aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen. Hier musste der Proband so viele Wörter innerhalb von zwei Minuten aufschreiben, wie ihm zu den Kategorien „Berufe“ oder „Hobbys“ sowie zu den Anfangsbuchstaben „M“, „P“, „K“ oder „B“ einfielen (s. Anhang).

Nicht erlaubt waren Wörter mit demselben Wortstamm (z.B. Sportplatz, Sporthose) und Eigennamen (z.B. Peter, Paris). Welche Aufgabe der Proband bekam, richtete sich nach einer Randomisierungsliste. Während dieses Tests befand sich der Proband allein im Versuchsraum.

### **2.3.5 Vigilanztest**

Der Vigilanztest diente zur Erfassung der Reaktionszeit und Aufmerksamkeit des Probanden während der verschiedenen Phasen des Versuchs. Bei diesem Test handelte es sich um ein 10min computergesteuertes Programm, wobei die Versuchsperson vor dem schwarzen Bildschirm auf das zufällige Erscheinen eines roten Punktes warten mussten. Erschien der Punkt auf der linken Seite, musste die Taste X, wenn er auf der rechten Seite zu sehen war, die Taste M, gedrückt werden (s. Abbildung 12).



**Abbildung 12:** Vigilanztest, gemessene Reaktion nach Erscheinen des roten Punktes links

### 2.3.7 Olfaktometer

Um dem Probanden während des Versuchs den Geruch zu präsentieren, wurde ein Olfaktometer benutzt. Der Duft wurde so in Abständen von 30sec jeweils für eine Dauer von 30sec zur Versuchsperson geleitet. Mit Hilfe eines Geruchstests wurde sichergestellt, dass alle Probanden den Duft ausreichend gut wahrnehmen konnten. Der Versuchsperson wurde über eine Gesichtsmaske entweder der Duft IBA oder Raumluft präsentiert. Roch der Proband den Duft, musste er die Taste 1 drücken, bei Raumluft die Taste 0. Dieser Test wurde 10mal wiederholt. Anschließend wurde noch ein Fragebogen über die empfundene Qualität des Duftes abgefragt, wobei die Probanden verschiedene den Duft betreffende Eigenschaften auf einer Skala von 1 – 9 (1 wenig, 9 hoch) angeben mussten (z.B. Bekanntheitsgrad des Duftes, Intensität).

### 2.3.8 Polysomnographie

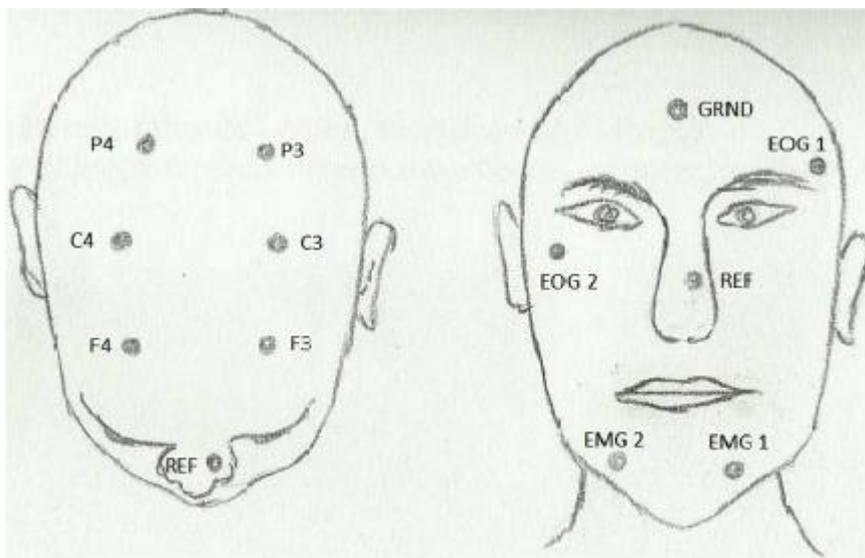
Um die verschiedenen Schlafstadien des Probanden zu überwachen und zu erkennen, wurde ein Standard – Polysomnogramm verwendet. Dies bestand aus einem Elektroencephalogramm (EEG), Elektrookulogramm (EOG) und Elektromyogramm (EMG). Die Übertragung der digitalen Daten erfolgte über einen Brainamp DC 32 Verstärker von Brain Products und einer Samplingrate von 200 Hz, einem 0,032 Hz high pass- und einem 90 Hz low pass-Filter. Die Positionierung der Elektroden erfolgte nach einem standardisiertem Schema (s. Abbildung 13). Die 6 Kopfelektroden wurden mit der Elektrodenpaste Genuine Grass EC 2 Electrode Cream fixiert und gegen eine, auf der Nase platzierte, Referenzelektrode abgeleitet.

Um die Augenbewegungen zu erfassen, wurden die 2 Elektroden des EOG über dem rechten bzw. unter dem linken Augen platziert. Der Muskeltonus wurde über das EMG,

mithilfe zweier am Unterkiefer fixierter Elektroden, dargestellt. Die Ground-Elektrode befand sich an der Stirn des Probanden.

Die Gesichtselektroden wurden mit der Elektrodenpaste und Klebeband befestigt. Alle Positionen auf der Haut wurden vor dem Befestigen der Elektroden mit Alkohol desinfiziert und, um den Hautwiderstand zu verringern, mit „everi conductive and abrasive paste“ aufgeraut.

Die aufgezeichneten Schlafdaten wurden nach den Regeln von Rechtschaffen und Kales (1968) mithilfe des Programmes SchlafAus in der Version 1.5.0.1. ausgewertet.



**Abbildung 13:** Schema der Elektrodenanordnung zur Polysomnographie

### 2.3.9 Versuchsablauf

Vor den eigentlichen Versuchsnächten verbrachten die Probanden eine Eingewöhnungsnacht im Schlaflabor, um sich an das Schlafen mit EEG-Elektroden und einer Geruchsmaske im Gesicht zu gewöhnen. Beide Versuchsnächte liefen nach demselben vorher festgelegten Versuchsaufbau ab. Es wurde außerdem darauf geachtet, dass alle Aktivitäten, die von dem Probanden ausgeführt wurden, sei es nun das Ausfüllen von Fragebögen, das Absolvieren der Tests am Computer oder das Schlafen, immer in ein und demselben Versuchsraum stattfanden. Am Abend vor der jeweiligen Versuchsnacht fanden sich die Probanden im Schlaflabor ein, um die erste Lernphase zu absolvieren (siehe L-A1 bzw. L-B1 in Abbildung 10). Zunächst wurde der Riechschwellentest durchgeführt, um sicherzustellen, dass das Riechvermögen der Versuchsperson intakt war. Anschließend wurde der Proband allein

im Labor gelassen, wo er nacheinander, den Fragebogen zu Probandendaten (s. Anhang), die Stanford Schläfrigkeitsskala, den Fragebogen zur Befindlichkeit und anschließend, durch den Versuchsleiter zeitlich überwacht, den Regensburger Wortflüssigkeitstest ausfüllte.

Der Buchstabe oder die Kategorie des Wortflüssigkeitstest wurde ebenfalls durch eine Randomisierungsliste festgelegt. Nach dem Ausfüllen der Fragebögen, setzte sich der Proband im selben Raum an einen Computer, wo er zunächst den Vigilanztest durchführte.

Im Anschluss an den Vigilanztest wurde ein computergesteuerter Geruchstest durchgeführt, um festzustellen, ob die Probanden den während der Versuche präsentierten Geruch (IBA) wahrnehmen. Die Probanden trugen dabei eine Maske über der Nase, die über ein Schlauchsystem mit dem Olfaktometer verbunden war.

Die Probanden blieben nach diesem Versuch an ihrem Computer, um nun die durch einen Randomisierungsplan festgelegte Version des Memory –Programms zu erlernen. Während des Lernens wurde ihnen der Geruch präsentiert, aber nur, wenn Ihnen die Kartenpaare gezeigt wurden.

Um sicherzustellen, dass der Geruch auch über die gesamte Zeitspanne präsentiert wurde und es zu keinen technischen Fehlern gekommen ist, wurde zum Abschluss noch einmal der Geruchstest durchgeführt. Diese gesamte erste Lernphase der Studie dauerte ca. 45 - 60 min. Die Probanden konnten nun wieder nach Hause gehen, wurden jedoch gebeten bis zum nächsten Abend keine alkoholischen oder koffeinhaltigen Getränke zu sich zu nehmen, außerdem sollten sie auf schwere körperliche Anstrengungen verzichten und keinen Mittagsschlaf halten. Um die Tagesaktivitäten der Probanden zu beurteilen, wurde ihnen ein Fragebogen (s. Anhang) mitgegeben, indem sie stichpunktartig eintragen sollten, welchen Beschäftigungen sie während der einzelnen Tage nachgegangen waren. Dieser Fragebogen wurde dann ausgefüllt zur Versuchsnacht mitgebracht.

Die Versuchsnacht fand immer am darauffolgenden Abend statt. Gegen ca. 21:00 fanden sich die Probanden im Schlaflabor ein, bereits im Vorfeld wurden durch den Versuchsleiter die Betten der Probanden bezogen sowie die technischen Bedingungen aufgebaut und eingestellt.

Zu Beginn der Versuchsnächte füllten die Probanden die drei Fragebogen zu den Probandendaten, die Stanford Schläfrigkeitsskala und den Fragebogen zur Befindlichkeit aus. Zudem wurde noch ein Wortflüssigkeitstest durchgeführt.

Die Probanden wurden nun gebeten sich für die Nacht vorzubereiten, da nach dem Anbringen der Elektroden, das Zähneputzen oder das Ausziehen von Kleidungsstücken über den Köpf, nicht mehr möglich gewesen wäre.

Das Befestigen der 6 Kopfelektroden und der 6 Gesichtselektroden erfolgte in einem separaten Vorbereitungsraum und nahm ca. 20min in Anspruch.

Anschließend gingen die Probanden wieder zurück in ihre Versuchsräume, wo sie zunächst den Vigilanztest durchführten. Als letzte Aufgabe vor dem Schlafengehen mussten sie noch eine Version des Memory-Spiels lernen, wobei es sich bei der Version um das Gegenstück zu dem handelte, das am Abend zuvor erlernt wurde: War zum Beispiel für den Abend durch die Randomisierungsliste die Version B1 vorgegeben, musste nun, für die Versuchsnacht die Version B2 gelernt werden. Während dieser Version des Memory, wurde den Probanden kein Duft präsentiert.

Direkt im Anschluss an das Memory legte sich der Proband ins Bett, wurde durch den Versuchsleiter an das EEG angeschlossen und bekam eine Geruchsmaske aufgesetzt. Außerdem wurde der Proband gebeten, sein Handy auszustellen und sich Ohrstöpsel einzulegen. An einem separaten Monitor außerhalb des Versuchsraums konnten die Schlafstadien mit Hilfe des EEG, EOG und EMG eingeteilt und beobachtet werden. Während des Tiefschlafes wurde der Versuchsperson über ein Olfaktometer durch den Versuchsleiter der Duft oder der Placebo präsentiert, wobei ein Computerprogramm, im Rahmen der doppelten Verblindung, festlegte, um welche der beiden Nächte es sich handelte.

Nach ca. 45 Minuten Schlaf, wobei dieser mind. 20 Minuten Tiefschlaf enthalten musste, wurden die Probanden während der Stimulation vom Versuchsleiter aus dem Tiefschlaf geweckt.

Jeder Proband hatte nun 30min Zeit, um wach zu werden, außerdem wurden die Elektroden in diesem Zeitraum entfernt. Nun wurde als erstes die Memory-Version, die vor dem Schlafengehen erlernt wurde, abgefragt (A2 bzw. B2). Anschließend erfolgten ein erneuter Vigilanztest sowie die Erfassung der Stanford Schläfrigkeitsskala, des Befindlichkeitsboges und des Regensburger Wortflüssigkeitstests. Vor Beendigung der Versuchsnacht wurde noch die Memory – Version des ersten Versuchsabends abgefragt (A1 bzw. B1) und zum Abschluss ein letztes Mal der Geruchstest durchgeführt (s. Tabelle 1). Der Proband konnte nun bis zum Morgen weiterschlafen.

Mit einem Abstand von mind. zwei Wochen wurde dieser Versuch mit demselben Probanden und der jeweils anderen Bedingung wiederholt.

**Tabelle 1:** Versuchsablauf

<b>Lernen (Tag 1)</b>	
19 Uhr	Vorbereitungen
19:30 Uhr	Ankunft Probanden
	Fragebögen/ Riechtest/ Vigilanztest
<b>Lernphase 1</b>	<b>Memory A1/B1 Lernen mit Geruch</b>
	Riechtest
<b>Experimentalnacht (Tag 2)</b>	
20 Uhr	Vorbereitungen
20:30 Uhr	Ankunft Probanden
	Fragebögen/ Riechtest/ Vigilanztest/ Elektroden kleben
<b>Lernphase 2</b>	<b>Memory A2/B2 Lernen – ohne Geruch</b>
ca. 23:00 Uhr	<b>Schlafphase</b>
ca. 23:20 Uhr	Stimulation im Tiefschlaf (randomisiert Duft vs. Placebo)
ca. 00:30 Uhr	<b>Abfrage Memory A2/B2</b>
	Fragebögen/ Vigilanztest
	<b>Abfrage Memory A1/B1</b>
	Geruchstest
ca. 01:00 Uhr	Ende des Experiments

## 2.4 Statistische Analyse

Die statistische Datenauswertung für die abhängige Variable der deklarativen Gedächtnisaufgabe erfolgte anhand von t-Tests für die verschiedenen, erlernten Memories (Geruch vs. Placebo). Für die statistische Datenauswertung der Kontrollvariablen wurden Varianzanalysen mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt, wobei Geruch und Placebo an den verschiedenen Zeitpunkten verglichen wurden. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Angegeben werden die Mittelwerte sowie die jeweiligen Standardfehler. Wenn nötig, wurden die Freiheitsgrade mittels der Greenhouse - Geißer Korrektur korrigiert.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Probanden

Die Auswertung erfolgte anhand der erhobenen Datensätze von 12 Probanden, mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren  $\pm 0,82$  (s. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Altersverteilung der Probanden

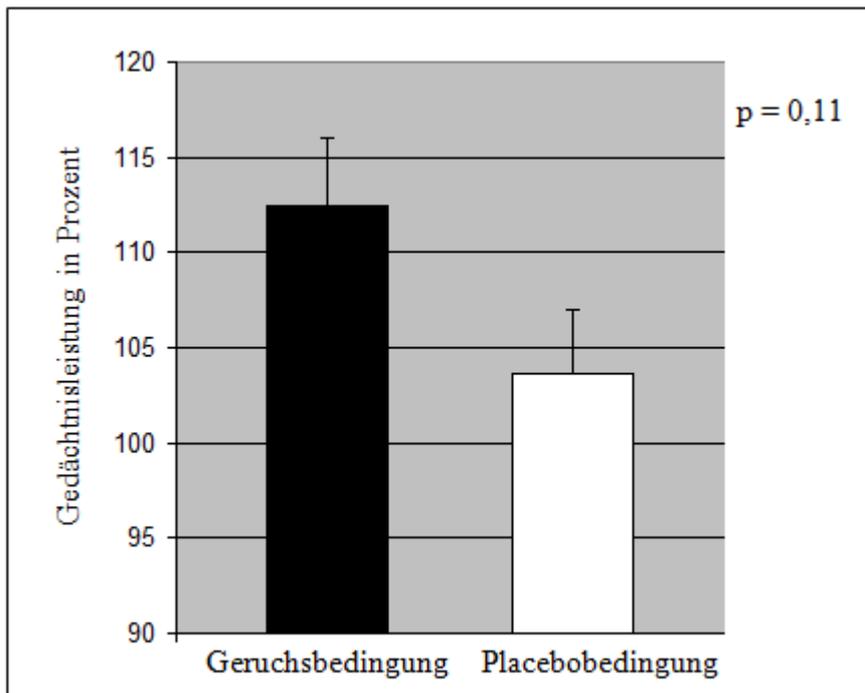
	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardfehler
Alter	18	26	22,08	$\pm 0,82$

### 3.2 Memory

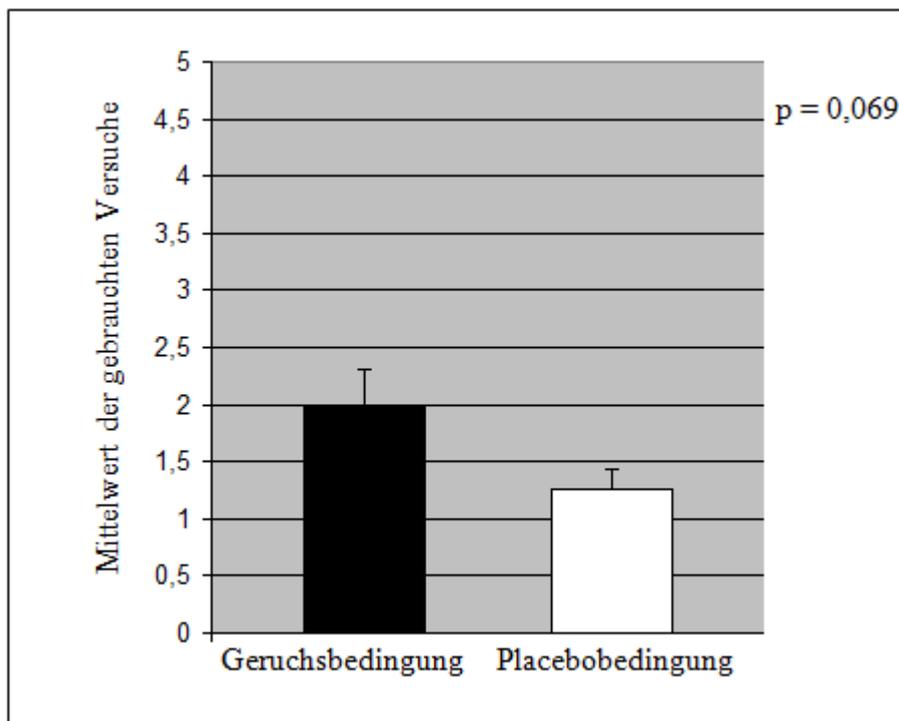
Die statistische Auswertung der beiden Versuchsbedingungen (Geruch vs. Placebo) mittels t-Test wurde in zwei Datensätze unterteilt, wobei Version 1 die erste Lernphase am ersten Lerntag beschreibt, jeweils für den Versuch unter Geruchsbedingungen und unter Placebobedingungen darstellt. In Version 2 werden die Ergebnisse der zweiten Lernphase des zweiten Lerntages ohne Geruchspräsentation während des Lernens, jeweils für den Versuch unter Geruchsbedingungen und unter Placebobedingungen, abgebildet.

Beim Erlernen der Version 1 zeigte sich zwischen der Lernphase unter Geruchsbedingungen und unter Placebobedingungen kein signifikanter Unterschied. Die in der Geruchsreihe Lernenden zeigten einen Mittelwert von  $2,25 \pm 0,42$  Versuchen bis zum Erreichen der 60%, wobei sie im Durchschnitt  $10,83 \pm 0,48$  Kartenpaare erlernten, während die gleichen Probanden in der Placeboreihe  $2,16 \pm 0,29$  Versuche benötigten und  $10,75 \pm 0,42$  Kartenpaare erlernten (Versuche:  $p = 0,89$ , Kartenpaare:  $p = 0,91$ ).

Auch beim Erlernen der Version 2 zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied. In der Versuchsreihe Geruch brauchten die Versuchspersonen  $2,00 \pm 0,30$  Versuche um durchschnittlich  $11,58 \pm 0,59$  Kartenpaare zu erlernen, und unter Placebobedingungen  $1,25 \pm 0,17$  Versuche für im Mittelwert  $11,91 \pm 0,49$  Kartenpaare (Versuche:  $p = 0,069$ , Kartenpaare:  $p = 0,48$ ) (s. Abbildung 14 und 15).

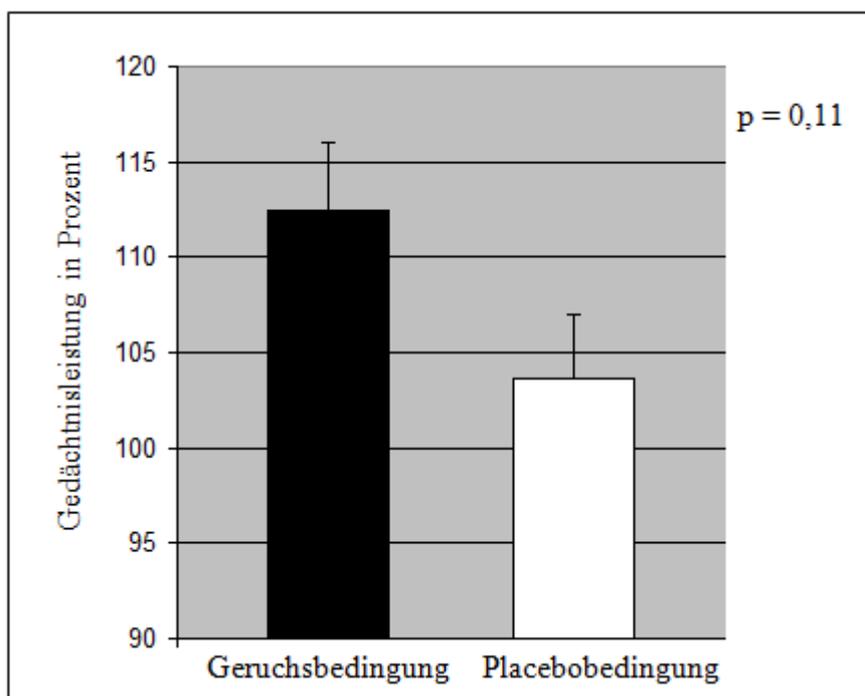


**Abbildung 14:** Abfrage der Gedächtnisleistung in Prozent der Version 2, Geruchsbedingung vs. Placebobedingung

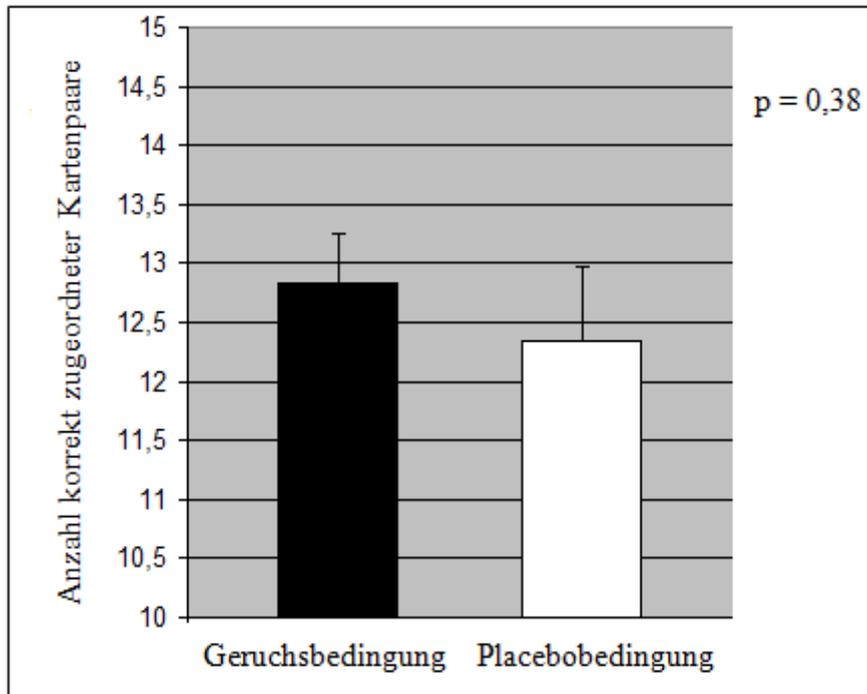


**Abbildung 15:** Mittelwert der gebrauchten Versuche der Version 2, Geruchsbedingung vs. Placebobedingung

Die Auswertung der nächtlichen Abfrage ergab keinen signifikanten Unterschied, jedoch einen Trend. So ergab die Auswertung der Geruchsreihe für Version 2 eine korrekte Zuordnung von  $12,83 \pm 0,42$  Kartenpaaren (s. Abbildung 17), was im Vergleich zum Lernniveau am Vorabend  $112,29 \pm 3,6\%$  bedeutet. Die Placeboreihe der Version 2 ergab durchschnittlich  $12,33 \pm 0,62$  richtige Kartenpaarungen, was gegenüber dem Erlernten vom Vorabend  $103,54 \pm 3,4\%$  bedeutet. In der t-Test Auswertung ergab sich für Version 2 ein P-Wert von  $p = 0,11$  (s. Abbildung 16). Obwohl dieser Unterschied knapp nicht signifikant ist, erinnerten sich die Probanden mit Geruch gegenüber der Abfrage zum gleichen Zeitpunkt unter Placebobedingungen deskriptiv an mehr Kartenpaare des Memorys.



**Abbildung 16:** Abfrage der Gedächtnisleistung in Prozent  
Geruchsbedingung vs. Placebobedingung



**Abbildung 17:** Anzahl der korrekt wiedergegebenen Kartenpaare Geruchsbedingung vs. Placebobedingung

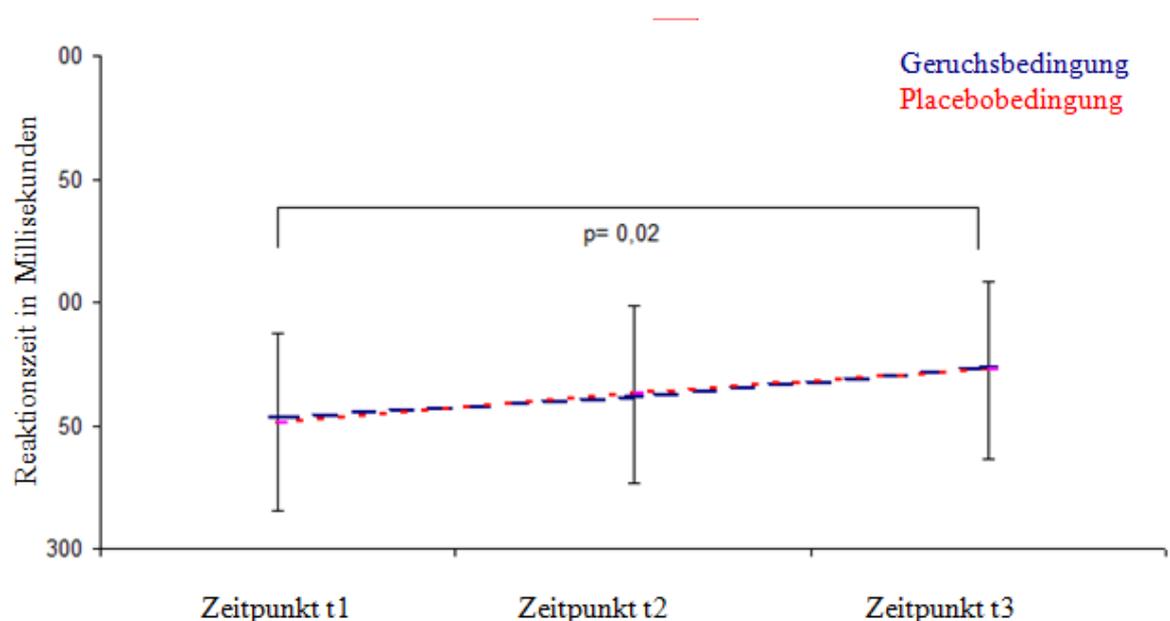
Die Auswertung der Abfrage der Version 1 zeigte sich demgegenüber abweichend. Hier ergab sich in der Geruchsreihe eine richtige Kartenpaarung von durchschnittlich  $4,5 \pm 0,57$  richtigen Kartenpaaren, also  $41,63 \pm 5,2\%$  im Vergleich zum Lernniveau, gegenüber der Placeboreihe mit einer Zuordnung von  $3,83 \pm 0,66$  Kartenpaaren, also  $36,72 \pm 6,76\%$ . Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant ( $p = 0,61$ ).

### 3.2 Vigilanztest

Der Vigilanztest sollte während der Versuchsreihen die jeweilige Aufmerksamkeit der Versuchspersonen an drei festgelegten Zeitpunkten ermitteln. Die erste Bestimmung erfolgte vor der ersten Lernphase (t1), die zweite vor der zweiten Lernphase (t2) und die dritte nach dem Abfragen des in der zweiten Lernphase erlernten Memorys (t3). Es wurden die Reaktionszeit (in ms), Versuche mit einer verlängerten Reaktionszeit (> 500 Millisekunden, in % aller Reaktionen) und die Fehler (falscher Tastendruck, in % aller Reaktionen) analysiert. Da es sich hier um die Ermittlung mehrerer Faktoren handelt, die unterschiedlichen Einflussvariablen unterliegen, erfolgte die statistische Auswertung mittels ANOVA (s.o.).

Ein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsreihe und der Placeboreihe wurde in der Auswertung des Vigilanztestes nicht deutlich ( $p = 0,91$ ). Der Vergleich der Reaktionszeiten an den drei verschiedenen Zeitpunkten ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) ergab jedoch einen signifikantern Unterschied ( $p < 0,05$ ). Zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Zeitverlauf ( $p = 0,86$ ).

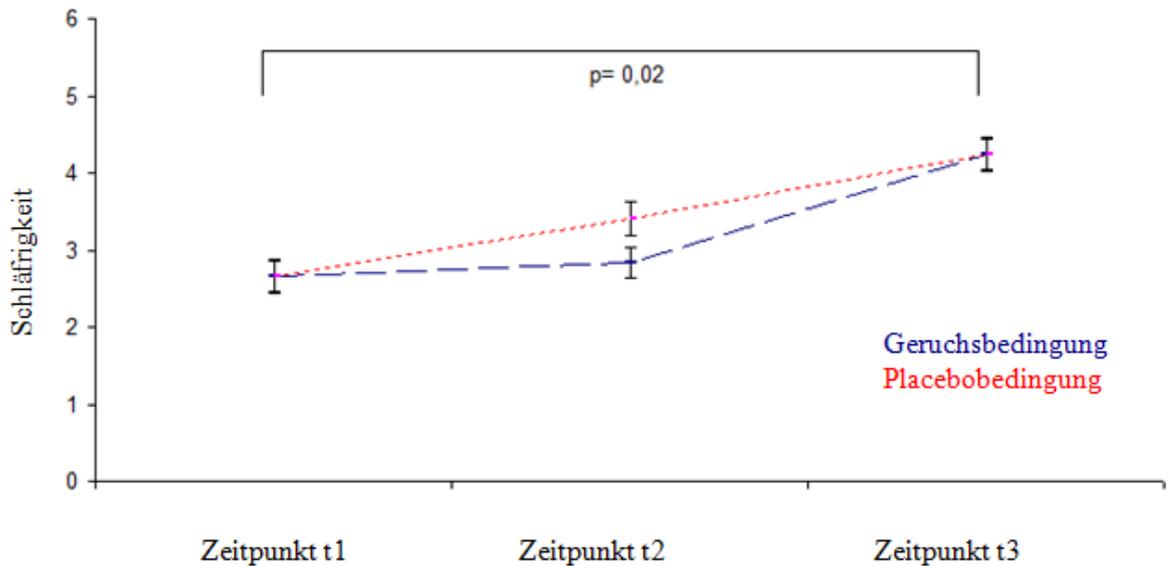
Es konnte folglich aufgezeigt werden, dass die verschiedenen Zeitpunkte die Reaktionszeit der Probanden signifikant beeinflussen: Die Reaktionszeit der Probanden unter Geruchsbedingung lag bei der ersten Abfrage ( $t_1$ ) bei  $353,46 \pm 8,48$  ms gegenüber der bei Placebobedingung von  $351,29 \pm 10,8$ ms, die zweite Testung der Vigilanz ( $t_2$ ) ergab unter Geruchsbedingung  $361,53 \pm 10$  ms gegenüber der Placebobedingung mit  $362,59 \pm 11$  ms, während die Reaktionszeit der Versuchspersonen zum dritten Zeitpunkt ( $t_3$ ) unter Geruchsbedingung bei  $373,10 \pm 11,30$  ms und unter Placebobedingung bei  $372,47 \pm 10,55$  ms lag. Das heißt, dass die Reaktionszeiten sich vom ersten zum zweiten und vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt verlangsamten. Es zeigt sich hier jedoch kein signifikanten Unterschied in Bezug darauf, ob sich der Proband zum jeweiligen Zeitpunkt in der Placeboreihe oder in der Geruchsreihe befand (s. Abbildung 18).



**Abbildung 18:** Vigilanztest, Reaktionszeit in Millisekunden zu den drei Zeitpunkten der Geruchsbedingung und der Placebobedingung

### 3.3 Schläfrigkeit

Die Auswertung der Schläfrigkeit der Probanden erfolgte ebenfalls mittels ANOVA. Die Probanden wurden hier zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3 nach ihrer momentanen Schläfrigkeit befragt. In der Auswertung zeigte sich ein ähnliches Ergebnis wie zuvor bei der Auswertung des Vigilanztestes. Ein signifikanter Unterschied zwischen Geruchsbedingung und Placebobedingung war nicht zu belegen ( $p = 0,152$ ). Betrachtet man aber die verschiedenen Zeitpunkte (t1; t2; t3) zeigt sich ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,05$ ). Bezogen auf den Zeitverlauf ( $p = 0,22$ ) wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung deutlich. Dass nur der Faktor Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied ausmacht, zeigen die Mittelwerten der auf der Skala während der drei Zeitpunkte von den Probanden angegebenen Werte. So gaben die Versuchspersonen zum Zeitpunkt t1 unter Geruchsbedingung einen Mittelwert von  $2,66 \pm 0,18$  und unter Placebobedingung von  $2,66 \pm 0,22$  an. Am Zeitpunkt t2 wurde unter Geruchsbedingung ein Mittelwert von  $2,83 \pm 0,29$  und unter Placebobedingung von  $3,4 \pm 0,26$  angegeben. Abschließend gaben die Probanden am Zeitpunkt t3 unter Geruchsbedingung einen Mittelwert von  $4,25 \pm 0,37$  und unter Placebobedingung von  $4,2 \pm 0,27$  an. Die Schläfrigkeit nahm also mit der Zeit zu, jedoch gleichermaßen in der Geruchs- und der Placebobedingung (s. Abbildung 19).



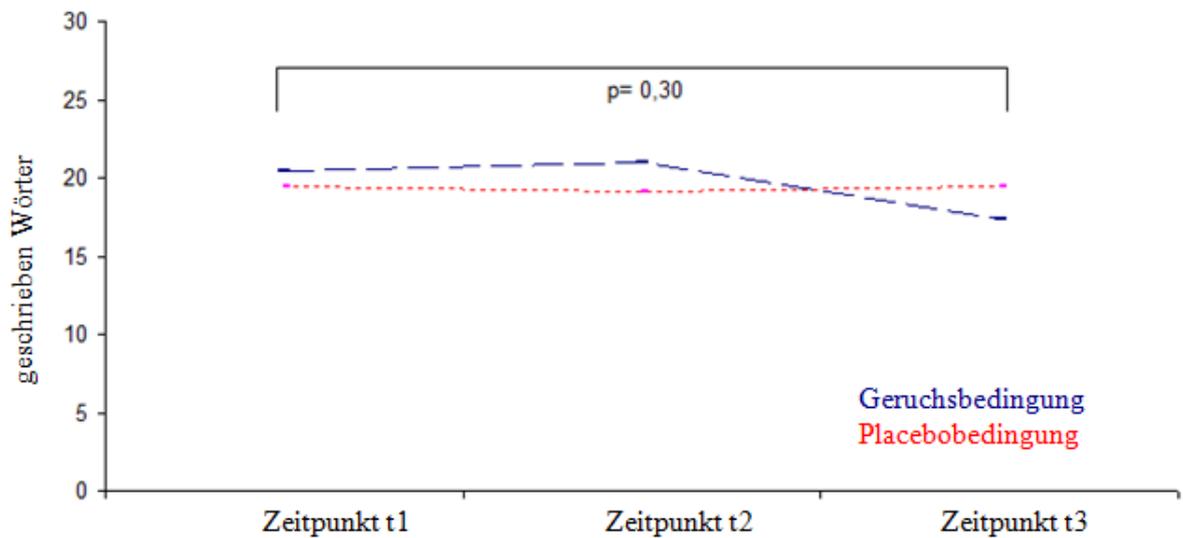
**Abbildung 19:** Schläfrigkeit der Probanden zu den drei Zeitpunkten in der Geruchsbedingung und der Placebobedingung

### 3.4 Wortflüssigkeit

Die Auswertung der Wortflüssigkeitstestung erfolgte mittels ANOVA. Diese Aufgabe erfolgte zu den drei festgelegten Zeitpunkten (t1; t2; t3). Ein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsreihe und der Placeboreihe konnte nicht aufgezeigt werden ( $p = 0,726$ ). Auch in Bezug auf die verschiedenen Zeitpunkte konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p = 0,30$ ). Ebenfalls war kein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf zu belegen ( $p = 0,13$ ).

Bei Betrachtung der Mittelwerte, bezogen auf die Anzahl der geschriebenen Wörter, lässt sich dies bestätigen. Am Zeitpunkt t1 schrieben die Probanden unter Geruchsbedingung  $20,41 \pm 1,17$  Wörter, unter Placebobedingung  $19,50 \pm 1,4$  Wörter. Die durchschnittliche Anzahl der geschriebenen Wörter am Zeitpunkt t2 lag in der Geruchsreihe bei  $21,00 \pm 1,6$ , während es in der Placeboreihe durchschnittlich  $19,08 \pm 1,6$  Wörter waren. Auch in der nächtlichen Abfrage (t3) zeigte sich kein signifikanter Unterschied gegenüber den anderen Zeitpunkten, hier schrieben die Probanden unter Geruchsbedingung  $17,33 \pm 1,5$  Wörter und unter Placebobedingung  $19,41 \pm 1,3$  Wörter. Die Wortflüssigkeitstestung zeigte daher keine signifikanten Unterschiede, sowohl im Vergleich der Geruchsreihe mit der Placeboreihe, als auch verglichen mit den

verschieden Zeitpunkten der Abfrage (t1; t2; t3). Auch der Vergleich der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf die Zeitpunkte der Abfrage ergab keinen signifikanten Unterschied (s. Abbildung 20).



**Abbildung 20:** Wortflüssigkeitstest – Anzahl der geschriebenen Wörter zu den drei Zeitpunkten in der Geruchsbedingung und der Placebobedingung

### 3.5 Befindlichkeit

Die Aufgabe der Probanden bestand darin ihren aktuellen Zustand in Bezug auf „schläfrig“, „aktiviert“, „angespannt“, „müde“, „gelangweilt“, „motiviert“ und „konzentriert“ auf einer Skala zu markieren.

Diese Abfrage erfolgte, wie zuvor beschrieben, zu den drei festgelegten Zeitpunkten (t1; t2; t3). Bei der Schläfrigkeit zeigte sich bei den Probanden unter Geruchsbedingung gegenüber denen der Placebobedingung kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,55$ ). Vergleicht man die drei festgelegten Zeitpunkte in Bezug auf die Schläfrigkeit, ergab sich ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,05$ ), hingegen ließ sich kein signifikanter Unterschied der Schläfrigkeit zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf belegen ( $p = 0,49$ ). Anhand der Mittelwerte kann dies ebenfalls aufgezeigt werden: So ergab sich zum Zeitpunkt t1 in der Geruchsreihe ein durchschnittlicher Wert von  $2,33 \pm 0,18$  gegenüber der Placeboreihe von  $2,16 \pm 0,20$ , zum Zeitpunkt t2 zeigte sich ein Mittelwert unter Geruchsbedingung von  $3,08 \pm 0,22$  gegenüber der Placebobedingung von  $3,33 \pm 0,18$

und abschließend am Zeitpunkt t3 ein Durchschnittswert von  $3,58 \pm 0,28$  in der Geruchsbedingung und  $3,75 \pm 0,17$  in der Placebobedingung. Bezüglich der Frage nach der Aktivierung der Probanden während der drei Zeitpunkte ergab sich ein ähnliches Ergebnis. Erneut zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung ( $p = 0,32$ ), jedoch kann bezogen auf den zeitlichen Verlauf ein signifikanter Unterschied gezeigt werden ( $p < 0,05$ ). Der Vergleich der Schläfrigkeit zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf ( $p = 0,83$ ) erbrachte keinen signifikanten Unterschied. Anhand der Mittelwerte zeigte sich auch, dass die Selbsteinschätzung der Probanden über ihre Aktivität im zeitlichen Verlauf abnimmt. Im Mittelwert stuften sich die Probanden am Zeitpunkt t1 in der Geruchsbedingung mit  $3,50 \pm 0,15$  und in der Placebobedingung mit  $3,16 \pm 0,20$  ein. Am Zeitpunkt t2 hingegen in der Geruchsbedingung durchschnittlich mit  $2,75 \pm 0,25$  gegenüber der Placebobedingung mit  $2,58 \pm 0,19$ , und abschließend am Zeitpunkt t3 in der Geruchsbedingung durchschnittlich mit  $2,41 \pm 0,26$  gegenüber der Placebobedingung mit  $2,16 \pm 0,20$ .

Ein etwas anderes Ergebnis zeigte sich in der Auswertung für den Zustand der Anspannung zu den jeweiligen Zeitpunkten. Hier konnte sowohl im Vergleich der Geruchsbedingung gegenüber der Placebobedingung ( $p = 0,25$ ), als auch im Vergleich der verschiedenen Zeitpunkte ( $p = 0,96$ ) und der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf ( $p = 0,75$ ) kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Anhand der Mittelwerte lässt sich auch dieses einheitliche Bild bestätigen: So gaben die Probanden am Zeitpunkt t1 in der Geruchsreihe einen Wert von  $1,5 \pm 0,23$ , in der Placeboreihe am Zeitpunkt t1 einen Wert von  $1,58 \pm 0,19$ , am zweiten Zeitpunkt t2 beschrieben die Versuchspersonen in ihrer Geruchsreihe einen Mittelwert von  $1,50 \pm 0,15$  und in der entsprechenden Placeboreihe am Zeitpunkt t2 einen Mittelwert von  $1,58 \pm 0,22$ . Am letzten Zeitpunkt t3 zeigte sich ein Durchschnittswert in der Geruchsbedingung von  $1,41 \pm 0,22$  und in der Placebobedingung von  $1,75 \pm 0,30$ .

Im vierten Teil des Fragebogens zur Befindlichkeit wurden die Probanden nach ihrer Müdigkeit an den Zeitpunkten t1, t2 und t3 befragt. Ein signifikanter Unterschied ergab sich im Vergleich der Geruchsreihe mit der Placeboreihe nicht ( $p = 0,72$ ), auch zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,48$ ). Bezogen auf die verschiedenen Zeitpunkte (t1; t2; t3) ergab sich eine Signifikanz ( $p < 0,05$ ), welche

anhand der Mittelwerte zu verfolgen ist: So ergab die Beschreibung der Probanden am Zeitpunkt t1 in der Geruchsreihe einen durchschnittlichen Wert von  $2,50 \pm 0,23$  gegenüber der Placeboreihe von  $2,33 \pm 0,31$ , am Zeitpunkt t2 zeigte sich ein Mittelwert unter Geruchsbedingung von  $3,33 \pm 0,31$  gegenüber der Placebobedingung von  $3,58 \pm 0,14$  und abschließend am Zeitpunkt t3 ein Durchschnittswert von  $3,83 \pm 0,24$  in der Geruchsbedingung und  $3,91 \pm 0,22$  in der Placebobedingung.

Wie gelangweilt sich die Probanden während der Versuchsreihe fühlten, wurde im folgendem erhoben, hier konnte sowohl im Vergleich der Geruchsbedingung gegenüber der Placebobedingung ( $p = 0,46$ ), als auch im Vergleich der verschiedenen Zeitpunkte ( $p = 0,24$ ) kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies gilt auch für den Vergleich der Geruchsbedingung mit der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf ( $p = 0,37$ ).

Diese Nicht-Signifikanz lässt sich anhand der Mittelwerte belegen: So ergab sich aus der Selbsteinschätzung der Probanden am Zeitpunkt t1 in der Geruchsreihe einen Wert von  $1,83 \pm 0,27$ , in der Placeboreihe am Zeitpunkt t1 einen Wert von  $1,91 \pm 0,26$ , am zweiten Zeitpunkt t2 in ihrer Geruchsreihe einen Mittelwert von  $1,83 \pm 0,29$  und in der entsprechenden Placeboreihe am Zeitpunkt t2 einen Mittelwert von  $2,08 \pm 22$ . Zum letzten Zeitpunkt t3 zeigte sich ein Durchschnittswert in der Geruchsbedingung von  $2,25 \pm 0,32$  und in der Placebobedingung von  $2,16 \pm 0,34$ .

Die Motivation der Probanden wurde, wie zuvor beschrieben, ebenfalls an den drei festgelegten Zeitpunkten (t1; t2; t3) abgefragt. Bei der Motivation zeigte sich bei den Probanden unter Geruchsbedingung gegenüber der Placebobedingung kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,85$ ). Vergleicht man die drei festgelegten Zeitpunkte in Bezug auf die Motivation, ergab sich ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,05$ ), hingegen erbrachte der Vergleich der Motivation der Geruchsbedingung mit der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,95$ ).

Eine Betrachtung der Mittelwerte verdeutlicht diese Ergebnisse: Zum Zeitpunkt t1 ergab sich in der Geruchsreihe ein durchschnittlicher Wert von  $3,50 \pm 0,23$  gegenüber der Placeboreihe von  $3,50 \pm 0,27$ , am Zeitpunkt t2 ein Mittelwert unter Geruchsbedingung von  $2,83 \pm 0,27$  gegenüber der Placebobedingung von  $2,83 \pm 0,20$  und abschließend am Zeitpunkt t3 ein Durchschnittswert von  $2,41 \pm 0,19$  in der Geruchsbedingung und  $2,33 \pm 0,22$  in der Placebobedingung.

Bezüglich der Selbstwahrnehmung der Konzentration der Probanden zu den drei Zeitpunkten, ließ sich ein ähnliches Ergebnis feststellen: Es zeigte sich kein

signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung ( $p = 0,09$ ), jedoch bezogen auf den zeitlichen Verlauf kann dieser belegt werden ( $p < 0,05$ ). Zwischen der Schläfrigkeit zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung in Bezug auf den Zeitverlauf ( $p = 0,87$ ) ergab sich kein signifikanter Unterschied. Anhand der Mittelwerte zeigte sich auch, dass die Einschätzung der Probanden über die Höhe ihrer eigenen Konzentration im zeitlichen Verlauf abnimmt. Im Mittelwert stuften sich die Probanden am Zeitpunkt t1 in der Geruchsbedingung mit  $3,58 \pm 0,14$  und in der Placebobedingung mit  $3,33 \pm 0,18$  ein. Am Zeitpunkt t2 hingegen in der Geruchsbedingung durchschnittlich mit  $3,25 \pm 0,21$  gegenüber der Placebobedingung mit  $2,91 \pm 0,14$ , und abschließend am Zeitpunkt t3 in der Geruchsbedingung durchschnittlich mit  $2,50 \pm 0,19$  gegenüber der Placebobedingung mit  $2,33 \pm 0,18$  (s. Tabelle 3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Befindlichkeit bezogen auf die Aktivierung, Müdigkeit, Motivation und Konzentration im Laufe der zeitlichen Abfragen bei den Probanden abnimmt, während die verschiedenen Zeitpunkte keinen Einfluss auf den zu diesem Zeitpunkt jeweilig herrschenden Zustand der Langeweile oder Anspannung haben.

**Tabelle 3:** Befindlichkeit der Probanden mit Standardfehlern und auf die Zeit bezogenen p-Wert

	Geruch t1 ± SEM	Placebo t1 ± SEM	Geruch t2 ± SEM	Placebo t2 ± SEM	Geruch t3 ± SEM	Placebo t3 ± SEM	p-Wert (Zeit)
schläfrig	2,33 ± 0,18	2,16 ± 0,20	3,08 ± 0,22	3,33 ± 0,18	3,58 ± 0,28	3,75 ± 0,18	0,00
aktiviert	3,50 ± 0,15	3,16 ± 0,20	2,75 ± 0,25	2,58 ± 0,19	2,41 ± 0,26	2,16 ± 0,20	0,01
angespannt	1,50 ± 0,23	1,58 ± 0,19	1,50 ± 0,15	1,58 ± 0,22	1,41 ± 0,22	1,75 ± 0,30	0,98
müde	2,50 ± 0,23	2,33 ± 0,32	3,33 ± 0,31	3,58 ± 0,14	3,83 ± 0,24	3,91 ± 0,22	0,00
gelangweilt	1,83 ± 0,27	1,91 ± 0,26	1,83 ± 0,29	2,08 ± 0,22	2,25 ± 0,32	2,16 ± 0,34	0,24
motiviert	3,50 ± 0,23	3,50 ± 0,28	2,83 ± 0,27	2,83 ± 0,20	2,41 ± 0,19	2,33 ± 0,22	0,01
konzentriert	3,58 ± 0,14	3,33 ± 0,18	3,25 ± 0,21	2,91 ± 0,14	2,50 ± 0,19	2,33 ± 0,18	0,00

### 3.6 Schlafdaten

Die Schlafdaten der Probanden wurden mittels T-Test ausgewertet. Die Erhebung der Schlafdaten erfolgte direkt im Anschluss an das Erlernen der Version 2. Ein besonderes Augenmerk galt dabei den Schlafstadien drei und vier (S3; S4), da hier die Präsentation des Geruchs oder des Placebos erfolgte. Als Ziel wurde mindestens 20 min Tiefschlaf (Schlafstadium S3 + Schlafstadium S4) angesetzt.

Die totale Schlafdauer (TST) der Probanden zeigte keinen signifikanten Unterschied, so schliefen die Probanden während ihrer Geruchsreihe  $65,58 \pm 11,16$  min und in ihrer Placeboreihe  $58,54 \pm 8,10$  min. ( $p = 0,59$ ). Auch die Einschlafzeit (SL) zeigte sich nicht signifikant ( $p = 0,93$ ), sie lag unter Geruchsbedingung bei  $27,87 \pm 6,31$  gegenüber der Placebobedingung bei  $28,45 \pm 7,98$  min. Bei der Auswertung der Tiefschlafzeit zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsreihe mit  $18,75 \pm 4,21$  gegenüber der Placeboreihe mit  $15,58 \pm 2,97$  min ( $p = 0,59$ ).

Vergleicht man die einzelnen Schlafstadien miteinander, konnte auch hier kein signifikanter Unterschied zwischen der Geruchsbedingung und der Placebobedingung gezeigt werden. Im Wachzustand befanden sich die Probanden in der Geruchsbedingung im Durchschnitt  $12,83 \pm 6,00$  min, in der Placebobedingung  $7,75 \pm 5,57$  min ( $p = 0,52$ ), das Schlafstadium 1 (S1) ergab für die Geruchsbedingung einen Mittelwert von  $3,91 \pm 0,73$  und für die Placebobedingung  $2,62 \pm 0,76$  ( $p = 0,17$ ). Wie zu erwarten befanden sich die Versuchspersonen am längsten im Schlafstadium 2 (S2), hier lag der Mittelwert der Geruchsreihe bei  $26,66 \pm 5,59$ min und in der Placeboreihe bei  $23,75 \pm 4,14$  min ( $p = 0,66$ ).

Im Schlafstadium 3 (S3), also mit Beginn des Tiefschlafs, lag der Durchschnittswert der Probanden in der Geruchsbedingung bei  $17,50 \pm 1,38$ min und in der Placebobedingung bei  $17,62 \pm 2,24$ min ( $p = 0,93$ ), und weiter im Schlafstadium 4 (S4) bei  $4,62 \pm 1,25$ min in der Geruchsreihe und  $6,12 \pm 2,28$ min in der Placeboreihe ( $p = 0,28$ ). Abschließend zeigte sich die REM-Schlaf-Phase (REM) sehr kurz, da die Probanden aus der ersten Tiefschlafphase heraus geweckt wurden. Lediglich die Placeboreihe zeigte einen kurzen REM-Schlaf von durchschnittlich  $0,58 \pm 0,58$ min gegenüber der Geruchsreihe, in welcher kein REM-Schlaf gemessen wurde  $0 \pm 0$  ( $p = 0,33$ ) (s. Tabelle 4 und 5).

**Tabelle 4:** Schlafstadien aller Probanden in der Geruchsbedingung  
Mittelwert sowie prozentualer Anteil (jeweils mit Standardfehler)  
der Länge der Schlafstadien

	Minuten ( $\pm$ SEM)	Prozent der TST ( $\pm$ SEM)
TST	65,58 $\pm$ 11,16	
Wach	12,83 $\pm$ 6,00	11,89 $\pm$ 4,44
S1	3,91 $\pm$ 0,73	5,93 $\pm$ 0,72
S2	26,66 $\pm$ 5,59	37,73 $\pm$ 3,18
S3	17,50 $\pm$ 1,28	33,45 $\pm$ 4,45
S4	4,62 $\pm$ 1,25	10,92 $\pm$ 3,04
REM	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
SWSL	18,75 $\pm$ 4,21	
SL	27,87 $\pm$ 6,31	

**Tabelle 5:** Schlafstadien aller Probanden in der Placebobedingung  
Mittelwert sowie prozentualer Anteil (jeweils mit Standardabweichung)  
der Länge der Schlafstadien

	Minuten ( $\pm$ SEM)	Prozent der TST ( $\pm$ SEM)
TST	58,54 $\pm$ 8,10	
Wach	7,75 $\pm$ 5,57	8,12 $\pm$ 4,10
S1	2,62 $\pm$ 0,76	4,35 $\pm$ 1,39
S2	23,75 $\pm$ 4,14	38,87 $\pm$ 3,70
S3	17,62 $\pm$ 2,24	34,38 $\pm$ 5,82
S4	6,12 $\pm$ 2,88	13,40 $\pm$ 5,35
REM	0,58 $\pm$ 0,58	0,69 $\pm$ 0,69
SWSL	15,58 $\pm$ 2,97	
SL	28,45 $\pm$ 7,89	

## 4. Diskussion

Die Fragestellung dieser Arbeit war, ob die Reaktivierung, die im Schlaf (und speziell im Tiefschlaf) stattfindet, genauso wie die Reaktivierung im Wachzustand auch zu einer Labilisierung der reaktivierten Gedächtnisinhalte führt. In der 2011 durchgeführten Studie von Diekelmann wurde dies getestet, indem die Probanden direkt nach der Reaktivierung aus dem Tiefschlaf geweckt wurden, und sie eine Interferenzaufgabe lernen mussten. Hier zeigte sich, dass wie in der Ellenbogen-Studie, die Gedächtnisspuren nach der Reaktivierung (mit Geruch) sogar stabiler waren. Es ergaben sich nunmehr verschiedene Möglichkeiten dies zu interpretieren. Einerseits könnte es sein, dass es durch die Reaktivierung im Schlaf (anders als im Wachzustand) nicht zu einer Labilisierung kommt. Andererseits könnte es auch im Schlaf zu einer Labilisierung kommen, wobei die Gedächtnisinhalte entweder im Schlaf oder durch das Aufwachen sehr schnell wieder stabilisiert werden, sodass die Labilisierung nach dem Wecken nicht mehr zu erkennen ist.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen untersucht nun die vorliegende Arbeit, ob es im Schlaf zu einer Labilisierung der Gedächtnisinhalte kommt. Um dies zu testen, haben die Probanden an Tag 1 das Memory 1 (mit Geruch) gelernt und an Tag 2 das Memory 2 (ohne Geruch). Davon ausgehend, dass im Schlaf nach dem Lernen von Memory 2 dieses im Tiefschlaf reaktiviert und dadurch eventuell labilisiert wird. In dieser Studie wurde nun im Tiefschlaf der Geruch präsentiert, um damit das mit dem Geruch assoziierte Memory 1 zu reaktivieren. Wenn Memory 2 labilisiert wurde, dann würde die Reaktivierung von Memory 1 mit Memory 2 interferieren und es zu einer Verschlechterung der Gedächtnisleistung Memory 2 betreffend kommen.

Die Hypothese, dass die Probanden mit Geruch schlechtere Gedächtnisleistungen für Memory 2 zeigen, da dieses durch die Interferenz von Memory 1 gestört wurde, konnte in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Es zeigt sich sogar entgegen der aufgestellten Hypothese, wie auch in der Diekelmann Studie, dass die Probanden in der Geruchsbedingung gegenüber der Placebobedingung, tendenziell mehr Kartenpaare erinnerten. .

Alle Probanden, ob sie sich nun in der Placebobedingung oder in der Geruchsbedingung befanden, hatten die gleichen Grundbedingungen. Um dies zu gewährleisten, wurden neben den eigentlichen Lernaufgaben Kontrolltests durchgeführt und die Probanden

wurden gebeten Fragebögen zu beantworten. Dies erfolgte für jeden Probanden zu denselben, im Versuchsaufbau festgelegten, Zeitpunkten, um circadiane Unterschiede zu vermeiden (Krishnan et al., 1999; Nordin et al., 2003).

Die Versuchspersonen mussten, um zum Versuch zugelassen zu werden, einen Riechschwellentest durchführen, außerdem wurde ein Geruchsdetektionstest durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Versuchspersonen den Duft während des Lernens wahrnehmen. Dass nur Gerüche, die bewusst wahrgenommen werden, das Lernen beeinflussen, zeigte Herz in seiner Studie aus dem Jahr 1997.

Dass die Ergebnisse des Memory nicht durch Konzentrationsunterschiede verändert wurden, konnte anhand des Vigilanztestes gezeigt werden. Untermauert wurde dies durch den Regensburger Wortflüssigkeitstest nach Aschenbrenner (Aschenbrenner 2000). Die Ergebnisse zeigten, dass die Zeitpunkte des Abfragens zwar die Konzentration beeinflussen, die Geruchs- oder Placebobedingung jedoch keinen Einfluss auf die Konzentration hatte.

Es kann daher ausgeschlossen werden, dass es zu Konzentrationsunterschieden während der Versuchsreihen gekommen ist. Dass die Lernleistung vor dem Schlafengehen wichtig für die Konsolidierung im Schlaf ist, zeigte Drosopoulos im Jahr 2007, daher mussten die Probanden mindestens 60 Prozent des Memorys vor dem zu Bett gehen erlernen.

Die Schläfrigkeit der Probanden nahm während des Versuches zu und wies natürlich nach der nächtlichen Abfrage ihren Höhepunkt auf. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsbedingungen (Geruch vs. Placebo), und damit eine Beeinflussung des Ergebnisses konnte jedoch ausgeschlossen werden.

Dass die Befindlichkeit der Probanden einen entscheidenden Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse hatte, konnte anhand des multidimensionalen Befindlichkeitsfragebogens nach Steyer (Steyer 1994) ausgeschlossen werden. Ähnlich wie auch schon beim Vigilanztest sowie dem Regensburger Wortflüssigkeitstest, zeigten sich hier zwar Unterschiede während der verschiedenen Zeitpunkte, jedoch nicht zwischen der Placebobedingung und der Geruchsbedingung. Daher kann auch hier ein Einfluss der Befindlichkeit der Versuchsperson auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden.

Der Schlaf der Probanden erfolgte sowohl während seiner Placebobedingung, als auch während seiner Geruchsbedingung immer im selben Schlaflabor, zusätzlich wurden die Versuchspersonen immer gleich verkabelt und erhielten eine Geruchsmaske. Der Schlaf wurde durch den Versuchsleiter in einem Nebenraum überwacht und durch ihn erfolgte die Stimulation während des Tiefschlafes. Ob es sich in den jeweiligen Nächten um die Placebobedingung oder die Geruchsbedingung handelte, war weder dem Probanden, noch dem Versuchsleiter bekannt. Da es sich hier um eine doppelte Verblindung handelte, wurden die Probanden weder bewusst, noch unbewusst durch den Versuchsleiter beeinflusst.

Ein Unterschied, was die Länge der Schlafphasen in der Placeboreihe und der Geruchsreihe betrifft, konnte nicht gezeigt werden. Alle Probanden wurden außerdem nach mindestens 20 Minuten Tiefschlaf unter Stimulation aufgeweckt.

Mehrere vorangegangene Studien belegen, dass der Tiefschlaf eine entscheidene Rolle für die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte innehat (Fowler et al., 1972; Plihal und Born, 1997, 1999; Born et al., 2006). Gais zeigte 2002, dass es nach deklarativen Lernaufgaben zu einer erhöhten Spindeldichte im Schlafstadium 2 kommt, ebenso konnte er zeigen, dass es zu einer ebenso guten Gedächtnisleistung kam. Es ist daher anzunehmen, dass auch das Schlafstadium 2 möglicherweise einen eigenen Stellenwert in der Gedächtnisleistung einnimmt. Verglichen mit dem REM-Schlaf hingegen zeigen die Schlafstadien S2, S3 und S4 viele ähnliche Charakteristika, sowohl was die Hormonkonzentrationen, das Level der Neurotransmitter, als auch die kardiovaskuläre Aktivität betrifft (Pace-Schott und Hobson, 2002; Rasch et al., 2007b). Inwieweit sich aber das Schlafstadium 2 gegenüber dem Tiefschlaf in qualitativer Hinsicht in Bezug auf die Gedächtnisleistung unterscheidet, wird sich in zukünftigen Studien zeigen. Beispielsweise, ob es zu einer Veränderung der Ergebnisse geführt hätte, hätte die Präsentation des Geruches bereits im Schlafstadium 2 stattgefunden, und nicht erst in den Tiefschlafphasen. In dieser Studie wurde jedoch die Geruchspräsentation auf den Tiefschlaf begrenzt, auf eine mögliche Auswirkung im Schlafstadium 2 wurde verzichtet.

In einer vorausgegangenen Studie von Rasch et al. (2007a) wurde Rosenduft, ein eindeutig positiver Geruch, verwendet. In einer Studie von Schroer (2011) wurde unter anderem, wie auch in dieser Arbeit ein leicht negativer Duft (IBA, Geruch nach

feuchtem Stroh) verwendet. In der Arbeit von Schroer wurde neben dem Duft IBA aber auch ein positiver Duft verwendet (Zitronenduft). Die Probanden beschrieben den Zitronenduft gegenüber IBA zwar als angenehmer, jedoch zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Intensität, Erregung und stechenden Eindruck. Schroer zeigte, dass es für die Gedächtnisbildung unwichtig ist, ob es sich um einen positiven oder negativen Duft handelt, der während des Lernens und der darauf folgenden Tiefschlafphase präsentiert wird. So bestätigte sich ein positiver Effekt auf die Gedächtnisbildung sowohl für den angenehmen, als auch für den unangenehmen Duft. Des Weiteren zeigte diese Studie, dass auch negativ empfundene Düfte, also zum Beispiel unter dem negativen Duft lernen und später in der darauf folgenden Tiefschlafphase den negativen Duft präsentiert bekommen, einen positiven Effekt auf die Gedächtnisbildung hat.

Dennoch wäre es interessant zu untersuchen, ob die Assoziation mit einem angenehmen Duft in dieser Studie zu einem gleichen Ergebnis geführt hätte oder ob es während der Reaktivierung, des mit dem angenehmen Geruch assoziierten Memory A, eher zu einer Labilisierung des Memory B gekommen wäre.

Die Anzahl an Probanden in dieser Studie zeigte bereits einen Trend entgegen der im Vorfeld aufgestellten Hypothese. Um die Frage zu beantworten, ob der Geruch das Gedächtnis tatsächlich signifikant verbessert, wäre eine größere Anzahl an Versuchspersonen notwendig.

Die Reaktivierungsvorgänge von deklarativen Gedächtnisinhalten sind bis heute noch nicht vollständig verstanden. Es ist jedoch bekannt, dass im Tiefschlaf ein unbewusster Reaktivierungsprozess stattfindet, der die Gedächtnis-Konsolidierung von zuvor gelernten Informationen fördert (McClelland et al., 1995; Buzsaki, 1998; Born et al., 2006). Ebenfalls wurde in Tierexperimenten nachgewiesen, dass Neuronengruppen, die während des Lernvorganges aktiv sind, auch im darauffolgenden Tiefschlaf wieder gemeinsam erregt sind (Wilson und McNaughton, 1994; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasdy et al., 1999; Louie und Wilson, 2001). Die Informationen werden zunächst im medialen Temporallappen, bestehend aus Hippokampus und angrenzenden kortikalen Arealen (entorhinaler, perirhinaler und parahippokampaler Kortex), zwischengespeichert (McClelland et al., 1995; Alvarez und Squire, 1994). Um das Erlernte nun aus dem Zwischenspeicher in das Langzeitgedächtnis zu transferieren, erfolgt zunächst die Umorganisation im Rahmen der Reaktivierung (K'ali und Dayan,

2004), wobei ein erhöhter Acetylcholinpiegel im Hippokampus während des Wachzustands die Enkodierung von Informationen fördert, und ein erniedrigter Acetylcholinpiegel während der SWS-Phasen die Reaktivierung und Festigung der Informationen in den Neokortex fördert (Hasselmo, 2006). Hier können diese Informationen nun hippokampusunabhängig abgerufen werden, da sie jetzt vom präfrontalen Kortex verwaltet werden (Frankland und Bontempi, 2005). Ob es nun im Rahmen dieser Reaktivierung ebenfalls wie im Wachzustand zu einer Labilisierung der Gedächtnisinhalte kommt, konnte in dieser Arbeit jedoch nicht abschließend beantwortet werden. Dieser Vorgang zur Speicherung von Gedächtnisinhalten im Langzeitgedächtnis ist eine "Off- Line- Stabilisierung" (Rasch und Born, 2007), denn im Tiefschlaf werden interferierende, externe Einflüsse unterbunden. Der Tiefschlaf festigt daher die deklarativen Gedächtnisinhalte, somit sind sie stabil gegenüber nachfolgenden Interferenzen, während im Wach- Zustand eine Interferenz das Gelernte überlagern kann (Ellenbogen et al., 2006).

Eine andere Hypothese bezogen auf die Reaktivierung präsentierten Tononi und Cirelli 2006.

Sie beschrieben eine synaptische Homöostase als Kern des verbesserten Gedächtnisabrufs nach Schlaf. Ihrer Meinung nach kommt es während des Lernens zu einer stetigen Verstärkung der synaptischen Verbindungen bis die Lernkapazität vollständig erschöpft ist. In dem darauf folgendem Schlaf, speziell in der Tiefschlafphase, nimmt nun diese Verstärkung wieder ab, bis durch diesen Vorgang des "Synaptic Downscaling" ein Zustand der Homöostase erreicht wird, sodass nach dem Erwachen weitere Lernvorgänge möglich sind.

Die in der ersten Phase des Schlafs sichtbaren hochamplitudigen, langsamen Oszillationen sind Ihrer Meinung nach durch die Synchronisierung starker synaptischer Verbindungen bedingt, welche mit dem Erreichen der Homöostase abnehmen. Während des "Synaptic Downscaling" werden alle synaptischen Verbindungen mit gleicher Proportionalität herunterreguliert bis nur noch die starken Verbindungen bestehen bleiben.

Eine Festigung des vor dem Schlaf Erlernen durch Präsentation eines Duftes während des Tiefschlafes, wie es in dieser Studie und in vorausgegangenen Studien erfolgte, lässt sich durch diese Hypothese z.B. damit erklären, dass der Geruch die reaktivierten Gedächtnisspuren aktiviert und damit vor dem Downscaling schützt, somit wären sie am Ende verhältnismäßig stärker als die anderen ‚downgescalten‘ Spuren. Jedoch gilt es

zu bedenken, dass das olfaktorische System zu einem der ältesten Bereiche unseres zentralen Nervensystems gehört und seine Interaktionen mit den übrigen Hirnarealen sicherlich noch nicht vollständig verstanden ist.

Wie zuvor gesagt wäre es im Bereich des Möglichen, dass die nächtliche Stimulation des olfaktorischen Systems das "Synaptic Downscaling" verlangsamt oder behindert, und so einem Verlust von gewonnenen Informationen verhindert. Diese Hypothese könnte erklären warum es auch in dieser Studie, ebenso wie in der Studie von Diekelmann und in der vorangegangenen Ellbogenstudie, nicht zu einer Verschlechterung der Gedächtnisleistung durch die Gabe einer Interferenzaufgabe gekommen ist, sondern die Probanden der Geruchsbedingung immer eine bessere Gedächtnisleistung zeigten.

Eine weitere Hypothese wäre, dass der Geruch nicht speziell mit der Interferenz Memory Version assoziiert ist, sondern mit dem Lernen eines Memory an sich. Wie auch die Ergebnisse dieser Arbeit könnte dies jedoch gegen die von Rasch et al. 2007 durchgeführte Studie sprechen. Hier wurde zum ersten Mal die Reaktivierung im Tiefschlaf manipuliert. Den Versuchspersonen wurde während des Lernens ein Rosenduft präsentiert, der anschließend während des Tiefschlafs zugeführt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass dadurch die Reaktivierung der Gedächtnisinhalte gefördert wurde, da die Abfrage des gelernten Stoffes der Geruchsgruppe gegenüber einer Kontrollgruppe, die keinen Rosenduft zugeführt bekommen hatte, bessere Ergebnisse erzielte.

In dieser Arbeit zeigten die Probanden jedoch ebenfalls bessere Ergebnisse in ihrer Geruchsbedingung gegenüber der Placebobedingung, obwohl das zuvor gelernte Memory nicht unter Geruchssubstitution erlernt wurde. Zu erklären wäre dies damit, dass die Versuchspersonen einen Abend zuvor bereits ein anderes Memory unter Geruchssubstitution lernten, im Gegensatz zur Rasch Studie, und somit die hypothetische Möglichkeit besteht, dass es sich hier um eine Assoziation zwischen dem Lernen eines Memory und eines Duftes handelt, und nicht um die Assoziation zwischen einer bestimmten Memory Version und eines Duftes. Anders gesagt könnte die Reaktivierung des Memory 1, durch die Duftgabe in der Tiefschlafphase, die Konsolidierung von Memory 2, zur selben Zeit, bewirken. Ebenfalls könnte die Möglichkeit bestehen, dass es sich hier um eine Generalisierung des Kontexts von Memory 1 auf Memory 2 handelt. Der Kontext während des Lernens von Memory 1, in

Bezug auf das Gebäude, den Raum, den Versuchsleiter oder den Computer, wird stärker mit dem weiteren Kontextreiz Geruch verknüpft als das eigentliche Memory. Während des Lernens von Memory 2 im gleichen Kontext wird nun der gesamte Kontext reaktiviert. Da der Geruch ein wichtiger Bestandteil des Kontexts war, wird der Geruch ebenfalls reaktiviert und verknüpft sich so mit Memory 2, woraufhin es zu einer Reaktivierung von Memory 2 kommt und zu einer Verstärkung der Konsolidierung. Es zeigt sich hier zwar kein signifikanter Unterschied, aber ein statistischer Trend. Ein neuer Versuchsaufbau wäre nötig, um eine mögliche Labilisierung durch die Reaktivierung im Tiefschlaf zu zeigen. Es müsste die Interferenz im gleichen Versuchsaufbau verändert werden, so könnte z.B. der Duft mit einem zuvor gezeigten Film assoziiert sein, welcher im anschließenden Tiefschlaf als Interferenz dient. Auch könnte man die Versuchsbedingungen der beiden Lernphasen unterschiedlich gestalten, um einer möglichen Generalisierung des Kontexts entgegenzuwirken.

Des Weiteren, betrachtet man zusätzlich die Ellbogenstudie 2006 und die Studie von Diekelmann 2011, könnte man anhand der gewonnenen Ergebnisse der Memory-Abfrage schließen, dass es während der Reaktivierung im Tiefschlaf nicht wie bei der Reaktivierung im Wachzustand auch zu einer Labilisierung der reaktivierten Gedächtnisinhalte kommt, womit die anfänglich aufgestellte Hypothese widerlegt wäre. So könnte man annehmen, dass es während des Reaktivierungsprozesses, im welchem es zu einer Aktivierung der Neuronenverbände, die auch beim vorangegangenen Lernprozess aktiv waren, kommt, und diese Verbindungen zwischen Hippocampus und Cortex stabil bestehen bleiben (cortikales Netzwerk; Buzsaki, 1998; Shen et al., 1998; Siapas und Wilson, 1998; Nadasdy et al., 1999). Somit würde es also während der Reaktivierung direkt zu einer Stabilisierung der Gedächtnisinhalte kommen und keine Labilisierung vorliegen.

## 5. Zusammenfassung

Eine Vielzahl bekannter Studien hat sich mit der Speicherung und Festigung von neu gewonnenen Informationen im Langzeitgedächtnis befasst. Dabei zeigte sich, dass es im Wachzustand, bei der Reaktivierung von deklarativen Gedächtnisinhalten zu einer Labilisierung dieser kommt, welche dadurch wiederum anfällig für Interferenzen werden. Ebenso belegen eine Reihe Studien, dass eine Assoziation des Gelernten mit dem olfaktorischen System in der Tiefschlafphase einen positiven Effekt auf die Festigung der Gedächtnisinhalte hat. Die vorliegende Studie untersuchte nun, ob es auch zu einer Labilisierung durch die Reaktivierung von Gedächtnisinhalten kommt, wenn diese während des Tiefschlafes durch die Präsentation eines assoziierten Geruchs erfolgt.

Dafür lernten 12 Probanden am ersten Versuchstag ein Memory 1 unter gleichzeitiger Gabe eines Duftes, am zweiten Versuchstag hingegen lernten sie ein zweites Memory, Memory 2, jedoch ohne die gleichzeitige Gabe eines Duftes. Nach der Lernphase legten sich die Probanden schlafen und bekamen, unbewusst, entweder den Duft in der Tiefschlafphase präsentiert, oder nicht. Die Gabe des Duftes während der Tiefschlafphase, und dadurch die gleichzeitige Reaktivierung des Memory 1, diente als Interferenz für das zuvor gelernte Memory 2. In derselben Nacht erfolgte, aus dem Tiefschlaf aufgeweckt, die Abfrage des am Vorabend erlernten Memory 2.

Es zeigte sich jedoch, dass die Probanden, entgegen der Hypothese, unter nächtlicher Geruchssubstitution gegenüber der Placeboreihe mehr Kartenpaare richtig zuordnen konnten.

Es kam somit nicht, wie zuvor in der Hypothese angenommen, durch die im Tiefschlaf gegebene Interferenz, zu einem schlechterem Ergebnis in der Abfrage, da diese Interferenz, während einer möglichen Labilisierung, die Festigung der Gedächtnisinhalte nicht negativ beeinflusste. Somit zeigte diese Arbeit, dass es durch die Reaktivierung von deklarativen Gedächtnisinhalten im Tiefschlaf nicht zu einer Labilisierung der Gedächtnisinhalte gekommen ist.

## 6. Literaturverzeichnis

Alvarez und Squire; Alvarez, P.; Squire, L.R.: Memory consolidation and the medial temporal lobe: a simple network model. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 91, S. 7041–7045, 1994

Aschenbrenner, S; Tucha, O. ; Lange, K.W.: Regensburger Wortflüssigkeits-Test. Göttingen : Hogrefe Verlag, 2000

Baddeley, A. D. The episodic buffer: A new component of working memory? (PDF; 712 kB) Trends in Cognitive Sciences, 4(11) 417–423, 2000

Backhaus J, Born J, Hoeckesfeld R, Fokuhl S, Hohagen F, Junghans K: Midlife decline in declarative memory consolidation is correlated with a decline in slow wave sleep. Learn Mem, 14 (5), 336-41, 2007

Boenninghaus, H.-G. ; Lenarz, T.: HNO. Nase, Nebenhöhlen und Gesicht, S. 121. 13. Auflage. Heidelberg : Springer, 2007

Borbély A: Schlaf.15-17, 76, Fischer Taschenbuchverlag, Frankfurt am Main, 2004

Born J, Fehm HL: Hypothalamus-pituitary-adrenal activity during human sleep: a coordinating role for the limbic hippocampal system. Exp Clin Endocrinol Diabetes., 106 (3): 153-163.1998

Born J, Fehm HL: The neuroendokrine recovery function of sleep. Noise Health, 2(7), 25-38, 2000

Born J, Plihal W: Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. Psychologische Rundschau, 51 (4), 198-208, 2000

Born J, Rasch B, Gais S: Sleep to remember. Neuroscientist, 12, 410-24, 2006

Buzsaki G : Memory consolidation during sleep: a neurophysiological perspective. J.Sleep Res., 7 Suppl 1: 17-23.1998

Darwin C , M. T. Turvey, R. G. Crowder: An auditory analogue of sperling partial report procedure – evidence for brief auditory storage. In: Cognitive Psychology. 3(2) S. 255–267.1972

Diekelmann et al Natue Neuroscience, Diekelmann et al 2012 Neurobiology of Learning and Memory, 2011

Drosopoulos, S. ; Schulze, C. ; Fischer, S. ; Born, J.: Sleep's function in the spontaneous recovery and consolidation of memories. In: Journal of Experimental Psychology: General 136, S. 169–183, 2007

Duncan CP : The retroactive effect of electroconvulsive shock. J. Comp. Physiol. Psychol. 42: 32-44.1949

Ellenbogen JM, Hubert JC, Stickgold R, Dinges DF, Thompson- Schill SL: Interfering with Theories of Sleep an Memory: Sleep, Declarative Memory, and Associate Interference. Curr Biol. 16: 1290-1294.2006

Fischer, S.; Hallschmid, M.; Elsner, A.L.; Born, J.: Sleep forms memory for finger skills. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 99 S. 11987–11991, 2002

Fischer S, Nitschke MF, Melchert UH, Erdmann C, Born J: Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. J. Neurosci. 25(49):11248-55, 2005

Fowler, M.J.; Sullivan, M.J.; Ekstrand, B.R.: Sleep and Memory. In: Science 179, S. 302–304, 1972

- Frankland, P.W. ; Bontempi, B.: The organisation of recent and remote memories. In: *Nature Reviews Neuroscience* 6, S. 119–130, 2005
- Gais, S.; M'olle, M.; Helms, K.; Born, J.: Learning-Dependent Increases in Sleep Spindle Density. In: *Journal of Neuroscience* 22, S. 6830–6834, 2002
- Gais, S.; Albouy, G.; Boly, M.; Dang-Vu, T.T.; Darsaud, A. ; Desseilles, M. ; Rauchs, G. ; Schabus, M. ; Sterpenich, V. ; Vandewalle, G. ;Maquet, Peigneux, P.: Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104 S. 18778–18783, 2007
- Harrison, Y. ; Horne, J.A.: Sleep Loss and Temporal Memory. In: *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A* 53, S. 271–279, 2000
- Hasselmo, M.E.: The Role of Acetylcholine in Learning and Memory. In: *Current Opinion in Neurobiology* 16, S. 710–715, 2006
- Herz, R.S.: The effects of cue distinctiveness on odor-based context-dependent memory. In: *Memory and Cognition* 25, S. 375–380, 1997
- Hobson JA: Sleep is of the brain, by the brain and for the brain. *Nature*, 437, 1254-1256 2005
- Hummel, T. ; Knecht, M. ; Kobal, G.: Peripherally obtained electrophysiological responses to olfactory stimulation in man: electro-olfactograms exhibit a smaller degree of desensitization compared with subjective intensity estimates. In: *Brain Research* 717 , S. 160–164, 1996
- Jenkins JG, Dallenbach KM: Oblivience during sleep and waking. *Am J Psychol.*, 35: 605-612, 1924
- K'ali, S. ; Dayan, P.: Off-line replay maintains declarative memories in a model of hippocampal-neocortical interactions. In: *Nature Neuroscience* 7, S. 286–294, 2004

Kirk-Smith, M.D. ; Toller, C. van ; Dodd, G.H.: Unconscious odor conditioning in human subjects. In: *Biological Psychology* 17, S. 221–231, 1983

Krishnan, B. ; Dryer, S.E. ; Hardin, P.E.: Circadian rhythms in olfactory responses of *Drosophila melanogaster*. In: *Nature* 400, S. 375–378, 1999

Li LH, Ku BS (2000): Regulation of SWS by hormones and cytokines. *Sheng Li Ke Xue Jin Zhan*, 31(1): 30-34.2000

Litvin OO, Ankohin KV: Mechanisms of memory reorganisation during retrieval of acquired behavioral experience in chicks: the effects of protein synthesis inhibition in the brain. *Neurosci. Behav. Physiol.* 30: 671-678, 2000

Louie K und Wilson MA : Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, 29: 145-156, 2001

Mansuy IM, Winder DG, Moallem TM, Osman M, Mayford RD, Hawkins RD, Kandel ER: Inducible and reversible gene expression with the rtTA system for the study of memory. *Neuron* 21: 257-265, 1998

Maquet P, Laureys S, Peigneux P, Fuchs S, Petiau C, Phillips C et al.: Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nat. Neurosci.*, 3: 831-836, 2000

Maquet P: The role of sleep in learning and memory. *Science*, 294(5544), 10480-52 2001

McClelland, J.L. ; McNaughton, B.L. ; O'Reilly, R.C.: Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insight from the successes and failures of connectionist models of learning an memory. In: *Psychological Review* 102, S. 419–457, 1995

Miller GA: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev.*, 63: 81-97, 1956

Nadasdy Z, Hirase H, Czurko A, Csicsvari J und Buzsaki G: Replay and time compression of recurring sike sequences in the hippocampus. *J Neurosci.*, 19: 9497-9507, 1999

Nader K, Schafe GE, LeDoux JE: Fear memories require protein synthesis in the amygdala for reconsolidation after retrieval. *Nature* 406: 722-726, 2000

Nader K: Memory traces unbound. *Trends Neurosci.*, 26: 65-72, 2003

Nordin, S. ; L'otsch, J. ; Murphy, C. ; Hummel, T. ; Kobal, G.:  
Circadian rhythm and desensitization in chemosensory event-related potentials in response to odorous and painful stimuli. In: *Psychophysiology* 40, S. 612–619, 2003

Pace-Schott, E.F. ; Hobson, J.A.: The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks. In: *Nature Reviews Neuroscience* 3, S. 591–605, 2002

Pavlides, C. ;Winson, J.: Influences of Hippocampal Place Cell Firing in the Awake State on the Activity of These Cells During Subsequent Sleep Episodes. In: *Journal of Neuroscience* 9, S. 2907–2918, 1989

Peigneux P, Laureys S, Delbeuck X & Maquet P: Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport* 12, A111-A124, 2001

Plihal, W. ; Born, J.: Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 9, S. 534–547, 1997

Plihal W, Born J: Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophysiology* 36(5), 571-82, 1999

Przybylski JP, Sara SJ: Reconsolidation of memory after its reactivation. *Behav. Brain Res.* 84: 241-246, 1997

Rasch B, Born J: Reactivation and consolidation of memory during sleep. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 188-192, 2008

Rasch, B. ; Dodt, C. ; Mölle, M. ; Born, J.: Sleep-stage-specific regulation of plasma catecholamine concentration. In: *Psychoneuroendocrinology* 32 S. 884–891, 2007

Rasch, B. ; Büchel, C. ; Gais, S. ; Born, J.: Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation. In: *Science* 315, S. 1426–1429, 2007

Rechtschaffen A, Kales A: A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Maryland: N.I.H. Publication No. 204, 1968

Rosenzweig MR, Breedlove SM und Watsen NV: *Biological Psychology. An Introduction to Behavioral and Cognitive Neuroscience*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 2005

Schroer I, Beeinflussung der Gedächtnisbildung durch Geruchsexposition im Schlaf unter Verwendung der Gerüche Citral und IBA, 2011

Shen J, Kudrimoti HS, McNaughton, BL, Barnes CA: Reactivation of neuronal ensembles in hippocampal dentate gyrus during sleep after spatial experience. *J Sleep Res.*, 7 Suppl 1, 6-16, 1998

Siapas AG, Wilson MA: Coordinated interactions between hippocampal ripples and cortical spindles during slow-wave-sleep. *Neuron*, 21: 1123-1128, 1998

Smith C: Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Med Rev* 5:491-506, 2001

- Spear N: Retrieval of memory in animals. *Psychol. Rev.*, 80: 163-194, 1973
- Sperling G: The information available in brief visual presentations. In: *Psychological Monographs*. 74(11) , S. 1–29, 1960
- Squire LR: Memory and the hippocampus: a synthesis from finding with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev.*, 99: 195-231, 1992
- Squire LR, Zola SM: Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93: 13515-13522, 1996
- Steyer, R. ; Schwenkmezger, P. ; Notz, P. ; Eid, M.: Theoretical analysis of a multidimensional mood questionnaire. In: *Diagnostica* 40, S. 320–328, 1994
- Stickgold, R.: Sleep-dependent memory consolidation. In: *Nature* 437, S. 1272–1278, 2005
- Takashima A, Petersson KM, Rutters F, Tendolkar I, Jensen O, Zwartz MJ, McNaughton BL, Fernández G: Declarative memory consolidation in humans: a prospective functional magnetic resonance imaging study. *Proc. Natl Acad Sci USA*, 103(3), 756-61, 2006
- Thews, G. ; Mutschler, E. ; Vaupel, P.: *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Nervensystem*, S. 605. *Sinnesorgane*, S. 701. 5. Auflage. Stuttgart : Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 1999
- Tononi, G. ; Cirelli, C.: Sleep function and synaptic homeostasis. In: *Sleep Medicine Reviews* 10, S. 49–62, 2006
- Trepel, M.: *Neuroanatomie: Struktur und Funktion. Großhirn (Telencephalon) und funktionelle Bahnsysteme*, S. 187. 3. Auflage. München : Urban und Fischer, 2004

Tse D, Langston RF, Kakeyama M, Bethus I, Spooner PA, Wood ER, Witter MP, Morris RGM: Schemas and Memory Consolidation. *Science* 316: 76-82, 2007

Wagner, U. ; Gais, S. ; Haider, H. ; Verleger, R. ; Born, J.: Sleep inspires insight. In: *Nature* 427, S. 352–355, 2004

Wagner U, Born J: Memory consolidation during sleep: interactive effects of sleep stages and HPA regulation. *Stress*, 11(1): 28-41, 2008

Wilson MA, McNaughton BL: Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265(5172), 676-9, 1994

## 7. Anhang

### Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Schlafstadium 1 .....	8
Abbildung 2: Schlafstadium 2 .....	9
Abbildung 3: Schlafstadium 3 und 4 .....	10
Abbildung 4: REM-Schlaf .....	10
Abbildung 5: Typisches Schlafprofil .....	11
Abbildung 6: Gedächtnismodell .....	13
Abbildung 7: Subsysteme des Langzeitgedächtnisses .....	14
Abbildung 8: Die olfaktorischen Bahnen .....	16
Abbildung 9a und b: Zwei Modelle der Gedächtnisbildung .....	21
Abbildung 10: Memory, Lernmodus .....	25
Abbildung 11: Memory, Abfragemodus .....	25
Abbildung 12: Vigilanztest, gemessene Reaktion .....	27
Abbildung 13: Schema der Elektrodenanordnung zur Polysomnographie .....	28
Abbildung 14: Mittelwert der erlernten Kartenpaare .....	33
Abbildung 15: Mittelwert der gebrauchten Versuche .....	33
Abbildung 16: Abfrage der Gedächtnisleistung in Prozent .....	34
Abbildung 17: Anzahl der korrekt wiedergegebenen Kartenpaare .....	35
Abbildung 18: Vigilanztest, Reaktionszeit in Millisekunden .....	36
Abbildung 19: Schläfrigkeit der Probanden .....	38
Abbildung 20: Wortflüssigkeitstest – Anzahl der geschriebenen Wörter .....	39

## **Verzeichnis der Tabellen**

Tabelle 1: Versuchsablauf .....	31
Tabelle 2: Altersverteilung der Probanden .....	32
Tabelle 3: Befindlichkeit der Probanden .....	42
Tabelle 4: Schlafstadien aller Probanden in der Geruchsbedingung .....	44
Tabelle 5: Schlafstadien aller Probanden in der Placebobedingung .....	44

## Probanden Selbstauskunft und rechtlicher Hinweis

<b>Studienbezeichnung:</b>	<b>Reaktivierung Interferenz im Schlaf</b>		
Doktorand/-in	Florian Hobrack	Tel.:	
Probandenhonorar			
Versuchsdatum (letzter Termin):			

### Probandeninformation (Bitte in Druckbuchstaben ausfüllen)

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

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

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

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

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

1. Name, Vorname
2. Geburtsdatum
3. Adresse
4. Kontaktmöglichkeiten
5. Studienbezogene Messungsdaten

- Ja**, ich möchte für weitere Studien als Proband fungieren, und meine Daten in das Zentralregister der Neuroendokrinologie eintragen lassen.
- Nein**, ich möchte nicht an anderen Studien teilnehmen.

Lübeck, den		<b>Unterschrift:</b>	
----------------	--	----------------------	--

## Fragebogen zu Tagesaktivitäten und Schlafqualität

Probanden – Code:

Datum:

Session:     1                     2

Bitte notieren Sie kurz in Stichpunkten, welchen Tätigkeiten Sie am Abend nach Verlassen des Labors nachgegangen sind:

---

---

Subjektive Müdigkeit beim Zubettgehen (1 = nicht müde, 5 = sehr müde):

1 --- 2 --- 3 --- 4 --- 5

Ins Bett gegangen:        \_\_\_ : \_\_\_ Uhr

Licht aus:                \_\_\_ : \_\_\_ Uhr

**Die nächsten Fragen bitte morgens direkt nach dem Aufwachen ausfüllen!!!**

Eingeschlafen am Vorabend nach ca. \_\_\_\_\_ min

Nachts aufgewacht: \_\_\_\_\_ Mal

Morgens aufgewacht: \_\_\_ : \_\_\_ Uhr, aufgestanden: \_\_\_ : \_\_\_ Uhr

Schlafqualität der vergangenen Nacht (1 = sehr schlecht geschlafen, 5 = sehr gut geschlafen):

1 --- 2 --- 3 --- 4 --- 5

Besonderheiten des Schlafs in der Nacht (ungewöhnliche Träume, Störungen etc.)

---

---

Bitte notieren Sie kurz in Stichpunkten, welchen Tätigkeiten Sie am Tag nach Verlassen des Labors nachgegangen sind:

Vormittags:

---

---

Mittags:

---

---

Nachmittags:

---

---

Abends:

---

---

Tagsüber geschlafen: \_\_\_\_\_ min

## Fragebogen zur Befindlichkeit

Proband:

Alter:                    m             w

Bedingung:

Uhrzeit:

### Fragen zur aktuellen Befindlichkeit

Ich fühle mich jetzt gerade ...

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

## Stanford Schläfrigkeitsskala

Probanden - Code:

Uhrzeit:

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

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

## Regensburger Wortflüssigkeits- Test

**RWT**  
Wörter

Hobby/Beruf

P-Wörter

M-

---

Probanden-Code:

Datum:

Uhrzeit:

---

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

Bitte versuchen Sie möglichst schnell viele verschiedene Wörter aufzuschreiben.

## Fragebogen zu Probandendaten

- Code:
- Datum:
- Bedingung:            Schlaf            Wach
- Eingewöhnungsnacht:            Datum \_\_\_\_\_            bei früherem Experiment
  
- Alter:
- Geschlecht:            w            m
- Brillenträger:            ja            nein
- Nichtraucher:            ja            nein
- Größe:
- Gewicht:
- Beruf/Studienfach:
  
- Gesundheit heute?
- Medikamente/Drogen heute?
- Nachtarbeit in letzten 6 Wochen?
- Wann zum letzten Mal Kaffee oder Cola getrunken?
- Heute besonderen Stress gehabt?
  
- Zu welcher Uhrzeit normalerweise abends zum Schlafen ins Bett?
- Wieviel Stunden Schlaf normalerweise pro Nacht?
- Üblicherweise auch Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?
  
- Zu welcher Uhrzeit letzte Nacht zum Schlafen ins Bett?
- Wann heute aufgestanden?
- Wieviel Stunden Schlaf letzte Nacht?
- Heute Schlaf tagsüber? Wenn ja, wann, wie viel?
  
- Vorherige Schlafexperimente mitgemacht? Wenn ja, wann, welche, bei wem?
- Besonderheiten:

## 8. Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben, bedanken.

Bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Jan Born, der mir ermöglicht hat die Versuche und diese Arbeit durchzuführen und anzufertigen.

Bei meiner Betreuerin Dr. Susanne Diekelmann, die besonders viel Geduld mit mir während all dieser Zeit bewiesen hat und mich jederzeit unterstützte.

Selbstverständlich auch Dank an alle Probanden für die tolle Mitarbeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, Siegfried, Mira und Marc Hobrack, ohne euch wäre nichts von alledem möglich gewesen.

## 9. Lebenslauf

### Persönliche Angaben

**Name:** Florian Hobrack  
**Anschrift:** Große Düwelstraße 23, 30171 Hannover  
**Telefon:** Mobil: 017664616836  
**e-mail:** florian.hobrack@gmx.de  
**Geburtsdatum/-ort:** 02.05.1981 / Engelskirchen  
**Familienstand:** ledig  
**Staatsangehörigkeit:** deutsch



### Tätigkeit als Assistenzarzt

15.01.2014 - b.a.w. **Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Minimal-Invasive Chirurgie HELIOS Klinik, Hildesheim**  
15.09.2011 – 30.11.2013 **Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Minimal-Invasive Chirurgie HELIOS Klinik, Schwerin**

### **Common Trunk Stationen**

10/11 bis 04/12	Zentrale chirurgische Notaufnahme
04/12 bis 02/13	Station/OP
03/13 bis 09/13	Interdisziplinäre Wachstation

### **Klinische Fallvorstellungen**

Tagung der Vereinigung Nordwestdeutscher Chirurgen in Stade, Hamburg und Kiel

- Ektopes Milzgewebe im Pankreasschwanz –seltene Differentialdiagnose des Pankreasschwanz- Karzinoms
- Transfusionspflichtige Stomablutungen nach antiangiogenetischer Therapie eine auffällige Ko-Inzidenz
- Rezidiv eines Bauchdeckenabszess, ein Klassiker als Diagnose?  
**-Preisträger 2. Platz-**
- Komplikation bei einer Portanlage, was tun wenn anschließend die Aufklärung fehlt?

## **Studium**

09/2004 – 03/2011 **Universität Lübeck / Medizin**

1. Staatsprüfung WS 2006    2. Staatsprüfung WS 2011 (05/2011)

## **Tätigkeit / Übergangszeit vor Studium**

08/2001 – 08/2004    Rettungsdienst Lindlar / Rettungssanitäter

## **Zivildienst**

08/2000 – 06/2001    Kreiskrankenhaus Gummersbach / Rettungsdienst

## **Schulausbildung**

08/1987 – 06/2000    Abschluss Abitur

**Sprachkenntnisse:**    Englisch

Hannover, den 29.10.2014

