

Aus dem Institut für Neuroendokrinologie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. rer. nat. Jan Born

**Beeinflussung der Gedächtnisbildung durch
Geruchsexposition im Schlaf
unter Verwendung
der Gerüche Citral und IBA**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
- Aus der medizinischen Fakultät -

vorgelegt von
Ingeborg Schroer
aus Braunschweig

Lübeck 2011

1. Berichterstatter Prof. Dr. rer. soc. J. Born

2. Berichterstatter Prof. Dr. med. R. Lencer

Tag der mündlichen Prüfung 19.04.2013

Zum Druck genehmigt, Lübeck, den 19.04.2013

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	9
2. Theoretischer Hintergrund	11
2.1. Gedächtnis	11
2.1.1. Gedächtnissysteme	11
2.1.2. Grundlagen der Gedächtnisbildung	13
2.2. Schlaf	15
2.2.1. Schlafstadien	15
2.2.2. Schlafarchitektur	16
2.3. Gedächtnis und Schlaf	17
2.4. False Memories	19
2.5. False Memories und Schlaf	20
2.6. Das olfaktorische System	21
2.7. Olfaktorisches System, Schlaf und Gedächtnis	23
2.8. Fragestellung und Hypothese	24
3. Methoden	25
3.1. Versuchspersonen	25
3.2. Geruchssubstanzen und Geruchsapplikation	25
3.3. Versuchsablauf	27
3.4. EEG	30
3.4.1. Elektrodenpositionierung	30
3.4.2. Polysomnographische Aufzeichnung	31
3.5. Aufgaben	31
3.5.1. Visuell-räumlicher Gedächtnistest	31

3.5.2. 'False Memories' (Wortlisten)	32
3.5.3. Kontrolltests	33
3.6. Fragebögen	35
3.6.1. Allgemeiner Versuchspersonenfragebogen	35
3.6.2. Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	35
3.6.3. Schlafqualitätsfragebogen	36
3.7. Statistische Auswertung	36
4. Ergebnisse	37
4.1. Memory (visuell-räumlicher Gedächtnistest)	37
4.2. Wortlisten ('False Memories')	39
4.3. Selbsteinschätzung	41
4.4. Schlafdaten	41
4.5. Nächtliche Geruchsstimulation	42
4.6. Kontrolltests	43
4.6.1. Rückmeldung der Probanden zum Experiment	43
4.6.2. Schlafqualitätsfragebogen	44
4.6.3. Befindlichkeitsfragebögen	46
4.6.4. Reaktionstest	47
4.6.5. Olfaktorischer Detektionstest	48
4.6.6. Regensburger Wortflüssigkeits-Test	48
4.6.7. Riechtest 'Sniffin' Sticks'	49
5. Diskussion	50
6. Zusammenfassung	59
Literaturverzeichnis	60
A. Anhang	74
A.1. Aufklärungsbogen für Probanden	74
A.2. Versuchspersonenbogen	77
A.3. Wortlisten ('False Memories')	80
A.4. Befindlichkeitsfragebogen	81
A.5. Fragebogen über die Schlafqualität	82
A.6. Schlafstadien nach Rechtschaffen und Kales (1968)	85

Abbildungsverzeichnis

2.1. Gedächtnissysteme	12
2.2. Prozesse der Gedächtnisbildung	13
2.3. Hypnogramm eines gesunden Menschen	16
2.4. Riechbahn	22
3.1. Versuchsaufbau	27
3.2. Zeitlicher Versuchsablauf	28
3.3. Ablauf der Lernphase	29
3.4. Ablauf am Morgen	29
3.5. Elektrodenpositionierung	30
4.1. Ergebnisse Memory	38
4.2. Ergebnisse False Memories: Passives Wiedererkennen	40
4.3. Ergebnisse False Memories: Aktive Wiedergabe	40
4.4. Auswertung Schlafdaten	42
4.5. Anzahl Geruchsstimulationen	43
4.6. Gefallen, Schwierigkeit und Motivation der Probanden	44
4.7. Ergebnisse Schlafqualitätsfragebogen	45
4.8. Ergebnisse Befindlichkeitsfragebögen	47
4.9. Reaktionszeiten zwischen Erscheinen des Stimulus am Bildschirm und Tastenbetätigung durch die Probanden (dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler der einzelnen Gruppen)	48
A.1. EEG einer wachen Person	85
A.2. EEG im Schlafstadium 1	86
A.3. EEG im Schlafstadium 2	86
A.4. EEG im Schlafstadium 3	87
A.5. EEG im Schlafstadium 4	87
A.6. EEG im REM-Schlaf	88

Tabellenverzeichnis

3.1. Probandenverteilung auf die Versuchsgruppen	36
4.1. Richtig zugeordnete Kartenpaare im Vergleich	38
4.2. Selbsteinschätzung Geruchsbedingungen	41
4.3. Auswertung Schlafdaten	41

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
C3, C4	Central 3, 4 (Elektroden in Kopfmitte)
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
e.c.	electronic cash
EEG	Elektroenzephalographie
EKP	ereigniskorreliertes elektrisches Potential
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
etc.	et cetera
F3, F4	Frontal 3, 4 (Elektroden frontal)
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
GRND	ground (Erdungselektrode)
Hz	Hertz
IBA	Isobutyraldehyd
kg	Kilogramm
M	Movement: Bewegung während des Schlafs
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
ml	Milliliter
min	Minuten
mögl.	möglich
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunde
μ 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
PIN	persönliche Identifikationsnummer
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
SWS	Slow Wave Sleep (Tiefschlaf)
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
W	wach
z.B.	zum Beispiel
ZNS	zentrales Nervensystem
z.T.	zum Teil

1. Einleitung

Jeder Mensch verbringt einen bedeutenden Anteil seines Lebens im Schlaf, wobei die Funktionen des Schlafes bis heute noch nicht abschließend geklärt sind. Es gilt jedoch inzwischen als allgemein anerkannte Hypothese, dass dieser eine wichtige Rolle bei der Gedächtnisbildung spielt. Hierbei geht man davon aus, dass die verbesserte Gedächtnisleistung nach dem Schlaf mit einer nächtlichen Reaktivierung der neu erlernten Gedächtnisinhalte in Zusammenhang stehen könnte.

Rasch et al. untersuchten 2007 bereits den Zusammenhang zwischen Geruchsexposition während des Lernvorgangs und verschiedener Schlafstadien und der Gedächtnisleistung am darauf folgenden Morgen. Sie konnten zeigen, dass die Präsentation von Rosenduft in der Lernphase und den folgenden Tiefschlafphasen die Erinnerung an abends Gelerntes positiv beeinflusst. Während der nächtlichen Geruchsexposition konnte mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie eine Aktivierung des Hippokampus nachgewiesen werden. Dies entspricht möglicherweise einer durch den Geruchsstoff induzierten Reaktivierung, mit deren Hilfe die Konsolidierung gefördert werden könnte.

In dieser Arbeit wird nun untersucht, ob für eine Verbesserung der Lernleistung lediglich eine nächtliche Reizung des Riechzentrums notwendig ist oder ob tatsächlich genau der zum Lernen verwendete Geruch den Schlüsselreiz für die Gedächtnisbildung darstellt.

Ein interessantes Phänomen des Gedächtnisses ist die Ausbildung von False Memories. Personen erinnern sich hierbei an Dinge, die sich niemals oder in abweichender Form zugetragen haben. Nach bisherigen Erkenntnissen können sowohl Schlaf als auch Schlafentzug unter bestimmten Umständen die Entstehung dieser False Memories fördern. Ob und welchen Einfluss Geruchsexposition vor allem auch im Sinne der Konsolidierungsförderung hierauf haben kann, ist weiterer Untersuchungsgegenstand dieser Studie.

1. Einleitung

Zunächst wird der theoretische Hintergrund der Studie dargestellt. Dazu werden die bisherigen Forschungsergebnisse in Bezug auf Gedächtnis, Schlaf, Geruchssystem und False Memories aufgeführt und die Zusammenhänge zwischen diesen Themen herausgearbeitet. Aus diesen Erkenntnissen wird dann die Fragestellung der Arbeit entwickelt.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Gedächtnis

Das menschliche Gedächtnis kann nach der Länge der Speicherzeit in Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis eingeteilt werden. Im Kurzzeitgedächtnis bleiben Informationen nur einige Sekunden lang erhalten, wenn sie nicht durch ständiges Wiederholen darin festgehalten werden. Die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses ist begrenzt. Im Langzeitgedächtnis bleiben Inhalte über Minuten bis Jahre erhalten; bei sehr großer, aber doch begrenzter Speicherkapazität können sie durch vorher Erlerntes (proaktive Interferenz) oder später hinzugekommene Informationen (retroaktive Interferenz) verdrängt werden. Ein Teil wird jedoch nicht mehr vergessen (Thews et al., 1999).

Für die Studie interessant ist vor allem das Langzeitgedächtnis, so dass sich im weiteren Verlauf der Begriff 'Gedächtnis' immer auf das Langzeitgedächtnis beziehen wird.

2.1.1. Gedächtnissysteme

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich das Gedächtnis in mehrere Teilbereiche aufgliedert. Nach Squire lässt es sich übergeordnet in ein deklaratives und ein non-deklaratives Gedächtnissystem einteilen (Squire, 1992).

Im deklarativen Gedächtnis werden Fakten und Ereignisse gespeichert, wobei zum Lernen dieser Dinge (meist) die bewusste Aufmerksamkeit des Menschen erforderlich ist (explizites Lernen) und sie nach dem Lernen in verbalisierter Form wiedergegeben werden können. Man kann das deklarative Gedächtnis unterteilen in zwei Bereiche: einen semantischen und einen episodischen. Das semantische Gedächtnis ist zuständig für die Speicherung von Fakten, wie zum Beispiel 'Rom ist die Hauptstadt von Italien'. Inhalte des semantischen Gedächtnisses werden unabhängig von

den Variablen der Lernumgebung abgespeichert. So könnte die Person, die sicher weiß, dass Rom die Hauptstadt von Italien ist, nicht mehr angeben, ob sie dies in der Schule oder beim Spiel mit den Großeltern gelernt hat. Das episodische Gedächtnis dagegen speichert den Ablauf von Ereignissen in ihrer räumlichen und zeitlichen Umgebung. Es ist damit z.B. zuständig für individuelle Erlebnisse und deren Zusammenhänge. Als konkretes Beispiel könnte die Erinnerung an einen Urlaub in Frankreich mit Freunden angeführt werden.

Das non-deklarative Gedächtnis erfordert keine bewusste Aufmerksamkeit (implizites Lernen) und beinhaltet eine Vielzahl heterogener Gedächtnissysteme. Hierzu gehört unter anderem das prozedurale Gedächtnis, welches Wissen über erlernte Fähigkeiten, wie z.B. Fahrradfahren oder Klavierspielen, enthält. Ein anderer Teilbereich des non-deklarativen Gedächtnisses ist das sogenannte Priming, welches die unbewusste Verhaltensbeeinflussung durch Lernerfahrung bei wiederholter Stimulation gleicher Nervenbahnen beschreibt. Isst eine Person z.B. einen Apfel und wird anschließend aufgefordert, verschiedene Obstsorten zu nennen, wird sie wahrscheinlich als erste den Apfel angeben. Außerdem gehören noch die klassische Konditionierung und das nicht-assoziative Lernen zum non-deklarativen Gedächtnis. Ein Beispiel für die klassische Konditionierung wäre Pawlows Hundeexperiment (1905), in dem ein Glockenton (Reiz) nach einer Lernphase, in der Glockenton und Nahrungsaufnahme kombiniert waren, direkt Speichelfluss (Reflex) auslösen kann. Zum nicht-assoziativen Lernen gehören Habituation, Dishabituation und Sensitivierung, wobei bereits existierende Verknüpfungen entweder ihre Wirkung verlieren oder verstärkt werden. Als Beispiel wäre die fehlende Reaktion auf einen mehrmals nacheinander falsch alarmierenden Feuermelder anzuführen (Squire und Zola, 1996).

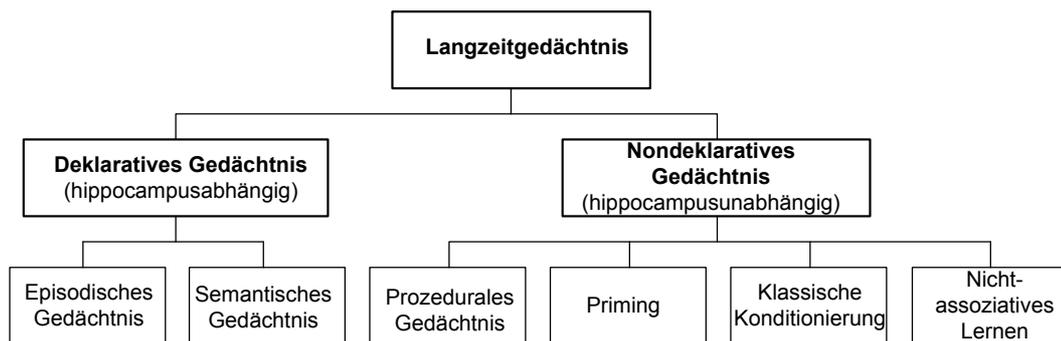


Abbildung 2.1.: Gedächtnissysteme modifiziert nach Squire und Zola (1996)

2.1.2. Grundlagen der Gedächtnisbildung

Das Gedächtnis besteht aus drei Teilprozessen. Zunächst erfolgt die Enkodierung, d.h. die betreffenden Inhalte müssen über das Anlegen einer neuronalen Gedächtnisspur erlernt werden. In der folgenden Konsolidierungsphase wird das vorhandene Wissen gefestigt, so dass es nicht wieder vergessen wird (McGaugh, 2000). Außerdem werden die neuen Informationen mit bereits im Langzeitgedächtnis enthaltenen Inhalten vernetzt (Dudai und Eisenberg, 2004). Vielleicht lässt sich so erklären, dass durch die Konsolidierung im Rahmen von Problemlösungen manchmal auch weiterführende Erkenntnisse gewonnen werden können (Wagner et al., 2004). Walker (2005) teilt die Konsolidierungsphase deshalb in zwei Schritte: auf die schlafunabhängige Stabilisierung der Daten folgt schlafabhängig eine Weiterentwicklung und damit Verbesserung des Gelernten (s. Kapitel Gedächtnis und Schlaf). Die synaptischen Prozesse der Konsolidierung sind Minuten bis Stunden nach dem Lernen bereits abgeschlossen, wohingegen die systemische Reorganisation Tage bis Monate andauert (Dudai, 2004). Manche Inhalte, wie z.B. oft wiederholte Bewegungen, scheinen eventuell keine Konsolidierung zu benötigen (Robertson et al., 2004a). Im letzten zum Gedächtnis gehörenden Schritt wird die gespeicherte Information wieder abgerufen. Einige Dinge können hierbei erneut destabilisiert werden und sind dadurch zunächst wieder störungsanfällig. Sie bedürfen nach dem ersten Abruf einer vierten Phase, der Rekonsolidierungsphase (Nader, 2003; Walker et al., 2003).

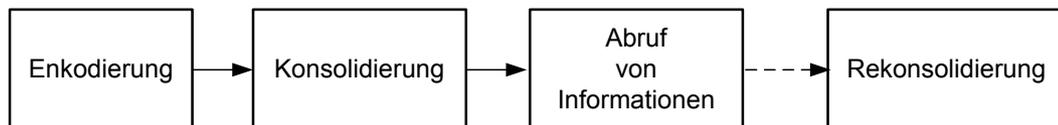


Abbildung 2.2.: Prozesse der Gedächtnisbildung

Die Gedächtnisbildung der verschiedenen Gedächtnissysteme verläuft unterschiedlich. Als wichtigster Punkt ist hierbei anzuführen, dass das deklarative Gedächtnis nur in Abhängigkeit vom Hippocampus funktioniert, während das non-deklarative hippocampusunabhängig arbeitet. So konnten Zola-Morgan et al. 1991 durch Versuche an Affen zeigen, dass bei Schäden im Bereich des Hippocampus die deklarative Gedächtnisbildung beeinträchtigt ist, während das prozedurale Gedächtnis nicht beeinflusst wird (Squire, 1992; Zola-Morgan et al., 1991). Je nach Unterform spielen bei der non-deklarativen Gedächtnisbildung eher Neokortex, Kleinhirn und Basalganglien eine Rolle (Squire und Zola, 1996; Pascual-Leone et al., 1994). Allerdings kann weder einer

Hirnregion genau ein Gedächtnissystem zugeordnet werden noch kann man genau zwischen deklarativem und non-deklarativem Lernen unterscheiden. Der mediale Temporallappen z.B. wird sowohl bei explizitem als auch bei implizitem Lernen aktiviert (Schendan et al., 2003). Außerdem werden bei vielen Lernprozessen mehrere Gedächtnissysteme parallel beansprucht. Einige Bewegungsabläufe werden zunächst explizit gesteuert, bevor sie unbewusst ablaufen können. Dies ist z.B. beim Erlernen einer Sportart häufig der Fall, wenn Ratschläge des Trainers umgesetzt werden. Andere Dinge, wie z.B. die PIN einer e.c.-Karte sind sowohl verbal als auch als Bewegung gespeichert - man kann sie als Zahlenfolge wiedergeben oder aber unbewusst in den Geldautomaten eintippen (Willingham und Goedert-Eschmann, 1999; Robertson und Cohen, 2006).

Da für diese Studie vor allem das deklarative Gedächtnis von Bedeutung ist, wird sich der folgende Absatz hierauf beziehen.

Es ist davon auszugehen, dass während der Gedächtniskonsolidierung zunächst eine begrenzte Menge an Informationen im Hippocampus gespeichert wird. Anschließend können diese Inhalte auf den Neokortex übertragen werden (McClelland et al., 1995). Weiter belegt werden kann diese Theorie durch die Tatsache, dass nach isolierten Hippocampusläsionen bei den betroffenen Patienten zwar eine anterograde Amnesie auffällt, das Langzeitgedächtnis jedoch keine ausgeprägten Einschränkungen aufweist (Zola-Morgan et al., 1986). Andererseits zeigten Gilboa et al. 2006, dass bei ähnlichen Läsionen auch eine retrograde Amnesie bestehen kann. Ein Patient ihrer Studie konnte autobiographische Details nicht wiedergeben, wenn er gezielt danach befragt wurde, konnte sich jedoch unbewusst an ebenjene erinnern. Sie vermuteten daraufhin, dass vertraute Erinnerungsprozesse von extrahippocampalen Strukturen des medialen Temporallappens unterstützt werden, während beim bewussten Gedächtnisabruf hippocampusabhängige Bahnen beansprucht werden (Gilboa et al., 2006). Winocur et al. stellten dann 2010 die Hypothese auf, dass Gedächtnisinhalte abhängig von Zeit und Erfahrung einem Überführungs- und Veränderungsprozess unterliegen. Sie gehen davon aus, dass alle Inhalte initial im Hippocampus vorliegen. Mit der Zeit wird dann noch eine eher schematische Kopie im Neokortex erstellt, die jedoch nur wenig Details enthält. Die beiden Typen von Erinnerung bestehen zunächst parallel zueinander, wobei je nach Art der Abfrage jeweils eine dominant gegenüber der anderen sein kann (Winocur et al., 2010). Diese Hypothese wäre vereinbar mit den Ergebnissen einer MRT-Studie, die im Beobachtungszeitraum von drei Monaten immer weiter abnehmende hippocampale Aktivität und gleichzeitig steigende Aktivität in medialen präfrontalen Kortexarealen zeigte (Takashima et al., 2006).

2.2. Schlaf

Da der Mensch während des Schlafes nicht bewusst am Leben teilnimmt, wurde diesem früher auch keine große Rolle beigemessen. Heute wird der Schlaf jedoch als lebensnotwendiger Prozess gesehen. So zeigten Rechtschaffen et al. 1983, dass Ratten unter Schlafentzug zunächst entkräfteten und nach spätestens 33 Tagen schließlich sterben, während in einer Kontrollgruppe unter gleichen Bedingungen keine derartigen Probleme auftraten. Beim Menschen ist nach 32 bis 34 Stunden Schlafentzug trotz deutlicher subjektiver Einschränkungen in kognitiven Tests noch keine signifikante Verschlechterung nachweisbar (Binks et al., 1999). Nach 51 Stunden Schlaflosigkeit ist die kognitive Leistungsfähigkeit dann jedoch deutlich eingeschränkt (Tucker et al., 2010).

Die Funktionen des Schlafes sind noch nicht abschließend geklärt, wobei NREM- und REM-Schlaf (Definitionen s.u.) höchstwahrscheinlich unterschiedliche Rollen einnehmen. Für den NREM-Schlaf werden unter anderem Energieerhaltung, Schutz gegen oxidativen Stress und ein Ermöglichen der Neurogenese diskutiert. Auffällig sind außerdem eine erhöhte Proteinsynthese während Tiefschlafphasen und eine mögliche Steuerung durch verschiedene Hormone und andere Botenstoffe bzw. eine Interaktion mit diesen. Während des REM-Schlafes auffallend sind lebhaftere Träume und variable, z.T. erhöhte, Herz- und Atemfrequenzen. Für diese Form des Schlafes werden z.B. eine (Weiter-)Entwicklung des Gehirns, eine Erhöhung des Aufmerksamkeitslevels zwischen Tiefschlaf und Erwachen oder eine mögliche Beeinflussung der Thermoregulation als Funktionen in Betracht gezogen. Bemerkenswert sind die Aktivierung des Hirnstamms während REM-Phasen und die Unterdrückbarkeit von REM-Schlaf durch Monoamine. (Siegel, 2005; Berger und Phillips, 1995)

2.2.1. Schlafstadien

Mit Hilfe der Elektroencephalographie (EEG) können die Hirnströme des Menschen während des Schlafes abgeleitet werden, ohne dass dieser dabei wesentlich gestört wird. Zusätzlich verwendet werden können das Elektromyogramm (EMG) der Gesichtsmuskulatur und das Elektrookulogramm (EOG) zur Registrierung von Augenbewegungen. All diese Ableitungen zeigen spezifische Merkmale, anhand derer eine Einteilung des Schlafes in verschiedene Stadien erfolgt. Zunächst kann man zwischen REM-Schlaf und NREM-Schlaf unterscheiden, wobei der NREM-Schlaf unterteilt wird in die Schlafstadien eins bis vier. Die Schlafstadien drei und vier werden auch als Tiefschlaf oder Slow-Wave-Sleep (SWS) bezeichnet.

Eine genaue Charakterisierung der einzelnen Schlafstadien mit zugehörigen EEG-Beispielen ist dargestellt in Anhang A.6. (Rechtschaffen und Kales, 1968)

2.2.2. Schlafarchitektur

Der Schlaf des Menschen verläuft nach einem bestimmten Schema. Während des Nachtschlafes werden die oben beschriebenen Schlafstadien der Reihe nach mehrfach durchlaufen. Zunächst können die Stadien S1 bis S4 beobachtet werden, anschließend folgt die REM-Schlaf-Phase. Ein Schlafzyklus dauert beim gesunden Menschen ca. 1,5 Stunden. Insgesamt werden im Verlauf der Nacht meist vier oder fünf Zyklen durchlaufen. Hierbei vermindern sich der Anteil des NREM-Schlafes und die maximale Schlaftiefe zunehmend. Im Gegensatz dazu steigert sich die Länge der REM-Phasen von anfangs 5 bis 10 Minuten auf über 30 Minuten. Der Ablauf der aufeinanderfolgenden Schlafphasen kann im Hypnogramm dargestellt werden. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 2.3. Insgesamt nimmt die Schlafdauer mit steigendem Lebensalter zunehmend ab, wobei sich der relative Anteil des REM-Schlafes an der Gesamtdauer ebenfalls verringert. (Thews et al., 1999; Danker-Hopfe et al., 2005)

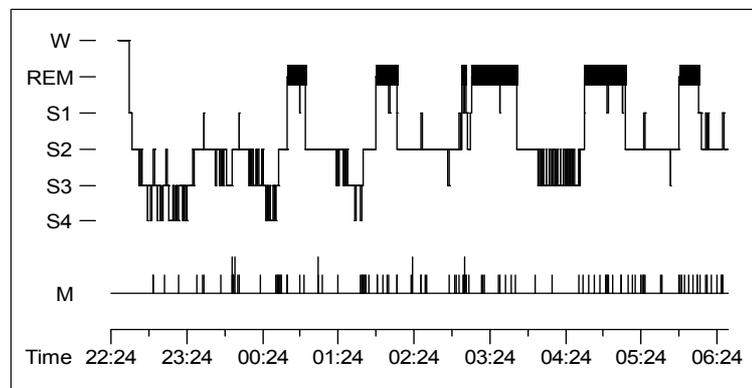


Abbildung 2.3.: Hypnogramm eines gesunden Menschen

2.3. Gedächtnis und Schlaf

Da Schlafentzug eine Verschlechterung der Gedächtnisleistung bedingt (Harrison und Horne, 2000), liegt die Vermutung nahe, dass Schlaf an der Gedächtnisbildung mitbeteiligt sein könnte. So ist inzwischen eine weit akzeptierte Hypothese, dass Schlaf eine wichtige Rolle bei der Gedächtniskonsolidierung spielt (Walker und Stickgold, 2006). Die Reaktivierung und Umverteilung von Gedächtnisinhalten aus dem Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis findet idealerweise während des Schlafs statt, weil es dann keine störenden externen Einflüsse gibt (Rasch und Born, 2007). Möglicherweise ist die Gedächtniskonsolidierung sogar der Grund für den Bewusstseinsverlust im Schlaf, da dieselben neuronalen Bahnen einerseits für die direkte Verarbeitung von Informationen und andererseits später für die Langzeitspeicherung dieser Inhalte zuständig sind (Born et al., 2006).

Verbesserte Lerneffekte nach dem Schlaf gelten sowohl für deklarative Fakten (Gais et al., 2006; Ellenbogen et al., 2006b) als auch für prozedurale Fähigkeiten (Fischer et al., 2002; Stickgold, 2005), wobei die Art des Lernens jedoch durchaus entscheidend ist. Während nach implizitem Lernen vor allem die Zeit eine große Rolle spielt, ist der Schlaf nach explizitem Lernen ein wichtiger Faktor (Robertson et al., 2004b). Es konnte auch gezeigt werden, dass Schlaf die Beeinträchtigung durch zusätzliche Informationen vermindert (Ellenbogen et al., 2006a). Ein größerer Effekt zeigt sich, wenn die Informationen vor dem Schlaf noch nicht so gut verinnerlicht waren (Drosopoulos et al., 2007). Neben einer quantitativen Steigerung des Gelernten kann Schlaf zusätzlich auch eine qualitative Änderung bewirken. So zeigten Probanden nach einer implizit gelernten Aufgabe morgens explizites Wissen (Fischer et al., 2006) oder verstanden über Nacht die versteckte Regel einer abends bearbeiteten Aufgabe (Wagner et al., 2004). Und selbst wenn die Leistung nach dem Lernen bereits nachgelassen hat, kann sie durch folgenden Schlaf erneut gesteigert werden (Fenn et al., 2003).

Für die Förderung der Konsolidierung sind nicht unbedingt acht Stunden Nachtschlaf notwendig. Auch ein Mittagsschlaf kann zu einer ebenso guten Verbesserung der Gedächtnisleistung führen, vor allem wenn er neben Slow-Wave-Sleep auch REM-Schlaf enthält (Mednick et al., 2003). Bereits sechs Minuten Schlaf verbessern die Erinnerung an einzelne Adjektive signifikant, wobei die Leistungssteigerung mit längerer Schlafdauer noch weiter zunimmt (Lahl et al., 2008). Entscheidend ist zudem auch der Zeitpunkt des Schlafes. Einerseits ist die Erinnerungsleistung deutlich besser, wenn eine kurze Schlafperiode erst nach vier Stunden und nicht direkt auf die Lernphase folgt (Alger et al., 2010); andererseits scheint es jedoch vorteilhaft, wenn nicht ein ganzer Tag zwischen Lernen und Nachtschlaf liegt (Talamini et al., 2008).

Schon Fowler et al. (1972) nahmen an, dass für das deklarative Gedächtnis vor allem Tiefschlaf einen begünstigenden Effekt hat, REM-Schlaf jedoch keine Verbesserung bewirkt. Und auch Plihal und Born (1997, 1999) kamen zu dem Ergebnis, dass Schlaf der ersten Nachthälfte (der überwiegend SWS enthält) die Ausbildung von deklarativen Gedächtnisinhalten fördert. Andererseits gehen Rauchs et al. (2004) davon aus, dass die Konsolidierung episodischer Inhalte vor allem REM-Schlaf erfordert, was im Widerspruch zu den Ergebnissen von Rasch et al. (2009) steht. Diese zeigten, dass die medikamentöse Unterdrückung von REM-Schlaf keineswegs zur Beeinträchtigung deklarativen Lernens führt. Und Genzel et al. (2009) fanden Lernfortschritte sowohl nach SWS- als auch nach REM-Schlaf-Unterdrückung, so dass sie davon ausgehen, dass vor allem das Schlafstadium 2 für die Konsolidierung notwendig ist. Dies wäre ebenfalls mit der ersten Nachthälfte zu vereinbaren und würde zur erhöhten Spindelaktivität passen (s.u.). Die von Ambrosini et al. (1988) anhand von Tierstudien aufgestellte sequentielle Hypothese, nach der für die Gedächtniskonsolidierung sowohl SWS als auch REM-Schlaf erforderlich sind (Giuditta et al., 1995), scheint jedenfalls für deklarative Inhalte nicht zu passen. Zusammenfassend deutet die Gesamtheit dieser Ergebnisse darauf hin, dass möglicherweise gar nicht ein Schlafstadium per se die Konsolidierung unterstützt, sondern eher neurophysiologische Mechanismen, die zum Teil mit mehreren Schlafstadien assoziiert sein könnten (Diekelmann und Born, 2010).

Man geht heute davon aus, dass die verbesserte Konsolidierung möglicherweise durch cerebrale Reaktivierungs- und Umverteilungsprozesse während des Schlafes bedingt ist (Marshall und Born, 2007). Zunächst konnte in Tierstudien gezeigt werden, dass im Schlaf nervale Bahnen reaktiviert werden, die auch während einer vorangehenden Lernphase bereits aktiv waren. Dies gilt sowohl für Bahnen des hippocampalen Systems bei Ratten (Pavlidis und Winson, 1989; Wilson und McNaughton, 1994; Skaggs und McNaughton, 1996) als auch für Bahnen des Neocortex bei Affen (Hoffmann und McNaughton, 2002). Die Reaktivierung findet vor allem während des SWS statt (Ribeiro et al., 2004), kommt aber auch während REM-Schlafphasen vor (Louie und Wilson, 2001). Die Wiederholung der Spike-Komplexe im SWS ist jedoch nicht immer ganz genau und spielt sich meist in höherer Geschwindigkeit ab (Nádasdy et al., 1999). Eine solche Reaktivierung konnte schließlich auch beim Menschen während des REM-Schlafs nach Bewältigung einer das prozedurale Gedächtnis betreffenden Aufgabe (Maquet et al., 2000; Peigneux et al., 2003) und während des SWS nach Übungen des deklarativen Gedächtnisses nachgewiesen werden (Peigneux et al., 2004). Außerdem zeigten Peigneux et al. 2004, dass die Erinnerungsleistung am nächsten Tag abhängig von der Hippocampusaktivität während dieses Schlafes war. Die Hippocampusreaktivierung nach deklarativen Aufgaben kann wahrscheinlich durch Duftstoffe als Schlüsselreize während des Lernens und folgender SWS-Phasen getriggert werden (s.u., Rasch et al. 2007a). Möglicherweise führt diese Reaktivierung im Rahmen der systemischen Konsolidierung dann zu einer Umverteilung von Erinnerungen vom Hippokampus auf den medialen präfrontalen Kortex

(Gais et al., 2007).

Doch nicht nur der Schlaf beeinflusst das Gedächtnis; er kann auch selbst durch Lernen beeinflusst werden. So ist nach konzentriertem Lernen einer das deklarative Gedächtnis betreffenden Aufgabe die Spindelaktivität vor allem während der ersten S2-Phase des folgenden Nachtschlafes deutlich erhöht, wobei die Spindeldichte mit der erbrachten Abfrageleistung nach dem Schlaf korreliert (Gais et al., 2002; Genzel et al., 2009). Diese erhöhte Spindelaktivität kann auch während eines Mittagsschlafes gefunden werden und scheint zudem mit der Schwierigkeit der bearbeiteten Aufgabe zusammenzuhängen (Schmidt et al., 2006).

2.4. False Memories

Erinnerungen werden nicht immer als exakte Kopien unserer Erfahrungen gespeichert, sondern wir erinnern uns oft an Dinge, die niemals oder aber in ganz anderer Form geschehen sind (Roediger und McDermott, 1995). Bartlett (1932) unterscheidet in Bezug auf Gedächtnisleistungen zwischen reproduktiv und wiederherstellend, wobei während reproduktiver Erinnerungsprozesse exakt erinnerte Fakten wiedergegeben werden und wiederherstellende Erinnerungen mit fehlenden, oftmals falsch erinnerten, Details ergänzt werden. So entstehende 'False Memories' sind seitdem Gegenstand zahlreicher Studien. Schacter (1999) sieht Fehlritte des Gedächtnisses im Sinne von „7 Sünden“: Vergänglichkeit, Zerstreuung und Blockierung als verschiedene Vergessensformen, Fehlzusammenhang, Beeinflussbarkeit und Voreingenommenheit als Formen der Verbiegung und zuletzt die Persistenz von schwer zu vergessenden Erinnerungen. Eine Verzerrung des Gedächtnisses kann beim Hören einzelner Sätze, deren Folge erwartet, aber niemals ausgesprochen wurde (Brewer, 1977), in Bezug auf ganze Textpassagen (Sulin und Dooling, 1974) und beim Betrachten von Bilderfolgen (Loftus et al., 1978) oder kurzen Filmen (Loftus und Palmer, 1974) entstehen.

Verschiedene Experimente gibt es vor allem auch zu thematischen Wortlisten, in denen häufig assoziierte Wörter fehlen, welche dann später oft fälschlicherweise zusätzlich erinnert werden. Zum Vergleich können bei passiver Abfrage unabhängige Kontrollwörter dienen. Ein ähnlicher Versuchsaufbau wurde zuerst von Underwood (1965) verwendet und ist heute als Deese-Roediger-McDermott Paradigm (DRM-Paradigm) bekannt. Das Besondere an dieser Aufgabe ist, dass hierbei beide Teile des deklarativen Gedächtnisses beansprucht werden. Eine kontext-abhängige und damit episodische Komponente wäre zum Beispiel die Erinnerung an den Klang der vorlesenden Stimme, der thematische Zusammenhang zwischen den Wörtern einer Liste dagegen

eine semantische. False Memories können jedoch nur durch semantische Gedächtnisvorgänge entstehen, da für nicht präsentierte Wörter keine kontext-abhängige Erinnerung besteht (Payne et al., 2009). Eine mögliche Erklärung für die Entstehung von false memories im Sinne von assoziierten 'kritischen' Wörtern wäre die Suche nach der Kernaussage der Listen (Brainerd et al., 2002), eine schon während der Enkodierung stattfindende Aktivierung von bereits gespeicherten Assoziationen zu neu hinzukommenden Inhalten (Roediger et al., 2001) oder eine Kombination dieser Möglichkeiten. Seamon et al. (2002) zeigten anhand des DRM-Paradigms, dass False Memories unter Umständen im Verlauf stabiler gegen Vergessen sind als tatsächlich richtig erinnerte Wörter.

Mehrfach untersucht sind außerdem die cerebralen Aktivierungsmuster während der Bildung bzw. Reaktivierung von exakten Erinnerungen und False Memories (u.a. Schacter et al. (1996), Schacter et al. (1997), Schacter und Slotnick (2004), Kim und Cabeza (2007)). Auch wenn die Ergebnisse dieser Studien zum Teil stark divergieren, sieht es so aus, als ob vor allem präfrontaler Kortex, linker medialer Temporallappen und Teile des visuellen Kortex eine Rolle spielen.

2.5. False Memories und Schlaf

Da Schlaf die Konsolidierung von Gedächtnisinhalten fördert, könnte man sich einerseits vorstellen, dass er im Kontext der Reorganisation die Ausbildung von False Memories fördert. Andererseits könnte es aber auch sein, dass durch die Verbesserung des Gedächtnisses nach dem Schlaf eine exaktere Wiedergabe des Gelernten möglich ist und somit die Entstehung von False Memories minimiert wird. In diesem Sinne verglichen Diekelmann et al. (2008) die fehlerhafte Wiedergabe von kritischen Überbegriffen nach Nachtschlaf, normalem Wachintervall und Schlafentzug. Auffallend war eine gehäufte Angabe von False Memories unter Schlafmangel; Koffeinkonsum direkt vor der Abfrage hob diesen Effekt allerdings praktisch auf. Schlaf an sich hatte in dieser Studie keinen Effekt auf die Ausbildung von False Memories. Auch Fenn et al. (2009) suchten den Vergleich zwischen Schlaf- und Wachintervall. Sie zeigten einen geringeren Anteil an False Memories im Wiedererkennungsversuch, nachdem ihre Probanden geschlafen hatten. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von Payne et al. (2009). Laut ihrer Studie fördert Nachtschlaf sowohl die Erinnerung von tatsächlich gehörten Wörtern als auch die (inkorrekte) Erinnerung an False Memories, ein kurzer Mittagschlaf sogar nur die Erinnerung an False Memories. Unterscheidet man im Rahmen der Abfrage zwischen Probanden mit besserer oder weniger guter Gedächtnisleistung, zeigt sich ein interessantes Ergebnis: Sowohl Schlaf als auch Schlafentzug fördern die Entstehung von False Memories bei allgemein schlechterer Gedächtnisleistung,

während die Wortwiedergabe bei insgesamt sehr leistungsstarken Probanden durch keinen dieser Faktoren beeinflusst wird (Diekelmann et al., 2010).

2.6. Das olfaktorische System

Da in der Studie auch verschiedene Geruchsstoffe eine wichtige Rolle spielen, soll im Folgenden das olfaktorische System (auch im Zusammenhang mit Schlaf und Gedächtnis) dargestellt werden.

Auf der oberen Nasenmuschel und dem gegenüberliegenden Teil der Nasenscheidewand ist die Riechschleimhaut lokalisiert. Dort befinden sich ungefähr zehn Millionen Riechzellen. Nachdem Moleküle aus der Atemluft an ihre olfaktorischen Zilien gebunden haben, wandeln die Zellen den chemischen Reiz in einen elektrischen um und leiten ihn über ihre axonalen Fortsätze, die *Fila olfactoria*, weiter. Diese treten in der *Lamina cribrosa* durch das Siebbein in die vordere Schädelgrube und erreichen hier den *Bulbus olfactorius*. Alle *Fila olfactoria* zusammen bilden den *Nervus olfactorius*. Im *Bulbus olfactorius* werden die primären Sinneszellen in *Glomeruli* (von Schwann-Zellen umhüllte Synapsen) mit *Mitralzellen* verschaltet, wobei jeweils mehr als 1000 Axone von Riechzellen auf eine *Mitralzelle* konvergieren. Im *Tractus olfactorius* werden die Potentiale anschließend zum olfaktorischen Kortex weitergeleitet. Er teilt sich im *Trigonum olfactorium* in die *Stria medialis*, die zur *Area septalis* und dem *Tuberculum olfactorium* ziehen, und die *Stria lateralis* zu präpiriformem Kortex (die primäre Riechrinde), entorhinalem Kortex und *Amygdala*. In den *Bulbus olfactorius* eingelagert ist der *Nucleus olfactorius anterior*. Dort werden Impulse aus dem *Bulbus olfactorius* verschaltet und zur kontralateralen Riechrinde weitergeleitet. Außerdem gelangen die Impulse zur Geruchswahrnehmung über den Thalamus in ipsilaterale Neokortexareale ('sekundärer olfaktorischer Kortex'), wo sie analysiert, interpretiert und erkannt werden (Abbildung 2.4). Eine emotionale Komponente und verhaltensbeeinflussende Wirkung entsteht durch eine enge Verbindung zwischen Riechbahn und limbischem System (wozu auch der für die Gedächtnisbildung wichtige *Hippocampus* gehört); vegetative und affektive Begleitreaktionen werden über Bahnverbindungen zum Hypothalamus erzeugt (Trepel, 2004; Thews et al., 1999).

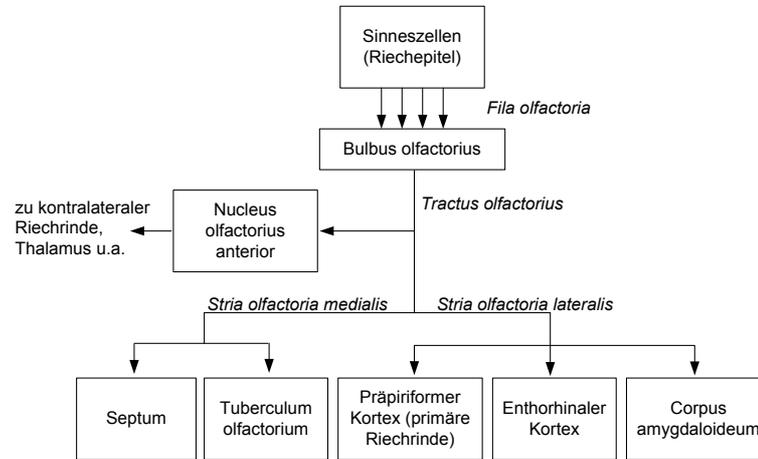


Abbildung 2.4.: Schematische Darstellung der Riechbahn modifiziert nach Trepel (2004)

Je nach Substanz sind unterschiedliche Konzentrationen erforderlich, um eine Geruchsempfindung auszulösen. Bereits in geringeren Konzentrationen wird ein Duft wahrgenommen (unspezifische Entdeckungs- oder Absolutschwelle). Damit er auch erkannt werden kann, sind jedoch vielfach höhere Konzentrationen erforderlich (Erkennungsschwelle der spezifischen Geruchswahrnehmung; Thews et al., 1999; Trepel, 2004; Boenninghaus und Lenarz, 2007). Die Geruchsschwellen sind unter anderem auch davon abhängig, wie bekannt die Gerüche sind (Rabin und Cain, 1984). Wirkt derselbe Stoff in gleichbleibender Konzentration über längere Zeit auf das Geruchsorgan ein, kommt es zur Adaptation. Die Empfindlichkeitsabnahme ist hierbei sowohl auf die Sinneszellen als auch auf zentrale Prozesse zurückzuführen und entspricht 20 bis 60 Prozent (Hummel et al., 1996).

Je nach Intensität und Wertschätzung des Geruchs und abhängig von Aufgabe und Absicht zeigen sich bei olfaktorischer Reizung im Wachzustand verschiedene zerebrale Aktivitätsmuster. In Studien konnten Aktivierungen unter anderem in piriformem Kortex, Amygdala, orbitofrontalem Kortex und Zerebellum nachgewiesen werden (Zelano und Sobel, 2005). Badia et al. wiesen 1990 Veränderungen von EEG und Herzfrequenz bei nächtlicher Präsentation von Pfefferminzgeruch nach und auch Stuck et al. beobachteten 2006 bei einigen Versuchspersonen ein ereigniskorreliertes elektrisches Potential (EKP) als Reaktion auf kurzzeitige Geruchsexposition von Schwefelsäure während des Schlafs.

2.7. Olfaktorisches System, Schlaf und Gedächtnis

Abends wahrgenommene Gerüche können in der darauffolgenden Nacht den Schlaf beeinflussen. Nach Lavendelexposition fallen z.B. ein erhöhter Anteil an SWS und das subjektive Gefühl von mehr Energie am nächsten Morgen auf, was für eine bessere Effizienz des Schlafs sprechen könnte (Goel et al., 2005). Neu hinzugekommene Geruchsexpositionen während des Schlafs führen beim Menschen meist nicht zu einer Aufwachreaktion (v.a. nicht im Tiefschlaf), auch wenn die betreffenden Personen die Gerüche in gleicher Konzentration im Wachzustand deutlich wahrnehmen konnten (Carskadon und Herz, 2004). Und sowohl die Präsentation von angenehmen (Arzi et al., 2010) als auch diejenige von unangenehmen (Stuck et al., 2007) Gerüchen im Schlaf führt nicht zu einer erhöhten Anzahl von Arousals. Außerdem zeigte Rasch 2008, dass Geruchsexposition während des Schlafs keine großen Veränderungen von Schlafarchitektur oder Spindeldichte verursacht. Man kann also davon ausgehen, dass Gerüche den Schlaf nicht wesentlich stören.

Bereits Trotter et al. (1988) vermuteten, dass sich Geruchsexposition während des REM-Schlafs auf den Trauminhalt auswirken kann. Tatsächlich berichteten ihre Probanden in 19% der Fälle von Geruchsassoziationen in ihren Träumen. Und Schredl et al. (2009) präsentierten ihren Versuchspersonen während des REM-Schlafs angenehme oder unangenehme Gerüche (Rosenduft bzw. Geruch nach verfaulten Eiern), erweckten sie anschließend und befragten sie zu ihren Träumen. So konnten sie zeigen, dass angenehme Gerüche eher positive Emotionen, unangenehme Gerüche dagegen eher negative Emotionen während des Traums hervorrufen.

Schon Proust beschreibt 1913 in seinem Roman 'A la recherche du temps perdu', dass ihn der Geruch von Madeleines sofort lebhaft an seine Kindheit erinnerte. Die Assoziation von Düften mit autobiographischen Erinnerungen wird seitdem auch als 'Proust'sches Phänomen' bezeichnet und war Thema zahlreicher Studien. Diese bei Geruchsexposition hervorkommenden Erinnerungen stammen oft aus Kindheitsjahren und sind emotionaler, lebhafter und detaillierter als anders assoziierte Erinnerungen (Chu und Downes, 2000, 2002; Herz, 2004; Willander und Larsson, 2007). Außerdem denken wir nicht so oft an sie, aber fühlen uns dann von ihnen stärker in die Vergangenheit versetzt (Willander und Larsson, 2006). In experimentellen Studien wird nun auch versucht, Gerüche für neu Erlerntes als Schlüsselreize zu verwenden. So zeigten zum Beispiel Cann und Ross (1989), dass Probanden sich besser an Gesichter erinnern konnten, wenn sie sowohl beim ersten Betrachten als auch zum späteren Wiedererkennen denselben Duft wahrnahmen. Ähnliches bestätigten Schab (1990) und Smith et al. (1992) für das Lernen von Wortlisten. Doch es gibt auch Studien, die diese Effekte nicht bestätigen (Schab, 1991). Erklärt werden könnte dies durch die Tatsache, dass ein Geruch nur dann als Schlüsselreiz dient, wenn er bewusst wahrgenommen wird (Herz, 1997). Ist der Geruch den Versuchspersonen nicht bewusst, zeigen

Frauen deutlich bessere Ergebnisse nach duftassoziiertem Lernen als Männer (Kirk-Smith et al., 1983). Außerdem zeigte sich bei bewusst gesetzten Schlüsselreizen eine höhere Emotionalität für geruchsassoziierte Erinnerungen (Herz und Cupchik, 1995).

Bei Geruchsexposition während des Lernens und Reexposition während folgender SWS-Phasen kann die Erinnerungsfähigkeit deklarativer, nicht aber prozeduraler, Gedächtnisinhalte gesteigert werden. Während dieser Geruchspräsentation können in der fMRT hippokampale Aktivierungen registriert werden. Reexposition vor dem Schlaf oder während REM-Schlaf-Phasen hat dagegen keine positive Wirkung auf die Gedächtnisleistung, ebensowenig nächtliche Geruchsexposition ohne vorherige Geruchspräsentation während des Lernens (Rasch et al., 2007a).

2.8. Fragestellung und Hypothese

In der vorliegenden Arbeit soll der Zusammenhang zwischen Geruchsexposition im Schlaf und der Ausbildung deklarativer Gedächtnisinhalte untersucht werden. In vorangegangenen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass bei Präsentation eines Duftstoffes während einer abendlichen Lernphase und darauffolgender Tiefschlafphasen die Lernleistung gefördert wird. Vermutet wird hierbei, dass die nächtliche Geruchsreexposition eine (verstärkte) Reaktivierung der abends gelernten Gedächtnisinhalte provoziert und somit die Konsolidierung dieser Inhalte fördert. In dieser Studie wurde nun untersucht, ob dies lediglich auf eine nächtliche Reizung des Riechzentrums zurückzuführen ist oder ob hierfür exakt derselbe Geruch in Lern- und Tiefschlafphasen erforderlich ist.

Weiterer Untersuchungsgegenstand war der Einfluss dieser Geruchspräsentation auf die Ausbildung von False Memories. Diese fehlerhaften Gedächtniskopien sind inzwischen vielfach untersucht. Es konnte jedoch bis jetzt auch dem Schlaf an sich kein eindeutig fördernder oder inhibierender Effekt zugeordnet werden, obwohl dieser relativ sicher einen positiven Einfluss auf die Gedächtniskonsolidierung hat. Um dem Phänomen der False Memories nachzugehen, lernten die Probanden unter Geruchsexposition Wortlisten über Themenbereiche ohne den eigentlichen Überbegriff (s. Methoden und Anhang A.3). Vorstellbar wäre nun einerseits, dass durch nächtliche Präsentation desselben Geruchs im Sinne einer Abstraktion oder Prototypenbildung mehr Überbegriffe als scheinbarer Teil der Erinnerung fälschlicherweise ins Langzeitgedächtnis integriert werden, andererseits aber auch, dass die Geruchspräsentation durch Förderung der Konsolidierung eine exaktere Gedächtnisbildung ermöglicht und damit die Entstehung von false memories vermindert.

3. Methoden

3.1. Versuchspersonen

An der Studie nahmen insgesamt 29 Versuchspersonen im Alter zwischen 18 und 32 Jahren (Mittelwert 23,59 Jahre; Standardfehler 0,63) teil. Sie wurden durch Aushänge auf dem Gelände der Universität Lübeck rekrutiert und waren überwiegend Studenten. Alle Probanden waren Nichtraucher und in gutem gesundheitlichen Zustand; sie nahmen zum Zeitpunkt der Studie keine Medikamente ein (Ausnahme: Kontrazeptiva) und litten vor allem nicht an Erkrankungen der Atemwege, insbesondere Asthma oder starken Allergien gegen Pollen, Hausstaub o.ä. Voraussetzung für die Teilnahme am Experiment war ein normaler Schlaf-Wach-Rhythmus ohne Schichtdienste bzw. Nachtarbeit in den vorangegangenen acht Wochen. Außerdem wurden die Versuchspersonen angewiesen, am Tag des Experiments um 7 Uhr aufzustehen, tagsüber nicht mehr zu schlafen und nachmittags keine koffeinhaltigen Getränke mehr zu sich zu nehmen. Da es für die Studie wichtig war, dass alle Versuchspersonen ein ausreichendes Riechvermögen hatten, wurde vor Beginn ein Riechschwellentest durchgeführt. Falls am geplanten Termin des Experiments ein Infekt des Nasenbereichs vorlag, wurde die Versuchsnacht auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Vor der Teilnahme an den Experimenten verbrachten alle Probanden eine Eingewöhnungsnacht im Schlaflabor, während der sie bereits eine Nasenmaske zur späteren Geruchspräsentation und Kopfelektroden zur Aufzeichnung des Schlaf-EEGs tragen mussten. Alle Probanden gaben nach einer genauen Aufklärung ihr schriftliches Einverständnis und erhielten ein Teilnahmehonorar (Anhang A.1). Die Experimente wurden von der Ethikkommission der Universität zu Lübeck genehmigt (Aktenzeichen 04-114).

3.2. Geruchssubstanzen und Geruchsapplikation

In den Experimenten wurden die Geruchsstoffe Citral und Isobutyraldehyd (IBA) verwendet. Citral riecht nach Zitrone, der Geruch von Isobutyraldehyd wird ähnlich wie der von nassem

3. Methoden

Getreide oder Stroh beschrieben (Wikipedia). Als Placebo diente die geruchlose Substanz 1,2 Propanediol. Die Stoffe waren alle in Glasflaschen abgefüllt, die Duftstoffe jeweils verdünnt mit 1,2 Propanediol (Citral 1:100, IBA 1:200). Für alle Probanden wurden die gleichen Lösungen verwendet.

Zur Applikation der Geruchsstoffe bzw. der Placebosubstanz diente ein computergesteuertes 12-Kanal-Olfaktometer. Dieses bestand aus mechanischen Durchflussmessern, die die Menge des Luftstroms regulierten, und computergesteuerten Ventilen, über die das Umschalten des Luftstroms auf die verschiedenen Kanäle möglich war. Der Luftstrom hatte eine konstante Geschwindigkeit von ungefähr drei Litern pro Minute. Damit beim Umschalten zwischen den einzelnen Kanälen keine thermalen und taktilen Reize bei den Probanden entstanden, wurde die Hälfte des Luftstroms konstant über Teflonschläuche in die Nasenmaske geleitet. Die andere Hälfte gelangte (ebenfalls über Teflonschläuche) zu den Glasflaschen. Diese enthielten, je nach Kanal, einen verdünnten Geruchsstoff oder die geruchlose Placebosubstanz. So erhielten die Probanden ständig gefilterte Raumluft über ihre Nasenmaske, in Phasen der Stimulation wurde dieser Luftstrom zusätzlich mit dem Luftstrom der verdünnten Duftsubstanz bzw. des Placebos vermischt. Während sich Pumpe, Olfaktometer und Steuercomputer in einem Überwachungsraum neben dem Schlaflabor befanden, standen die Glasflaschen mit der Placebo- bzw. den Geruchssubstanzen direkt neben dem Bett der Probanden. Sie waren über einen Teflonschlauch mit der Länge von einem Meter und dem Volumen von 12,6 ml direkt mit der Nasenmaske verbunden. So war gewährleistet, dass der Geruch in der Nasenmaske in einer Zeit von 300-500 ms relativ schnell angeflutet werden konnte. Durch das spezielle Design des Olfaktometers war es außerdem möglich, zwei Probanden während der gleichen Nacht in verschiedenen, nebeneinander liegenden Schlaflaboren unabhängig voneinander olfaktorisch zu stimulieren.

Abends, vor Eintreffen der Probanden, wurde das Olfaktometer mit den zwei Geruchssubstanzen und der Placebosubstanz bestückt. Die Auswahl des Geruchsstoffes für die Stimulation während der Lernphase und des Geruchsstoffes bzw. der Placebosubstanz während der nächtlichen Stimulation wurde von der Steuerungssoftware des Olfaktometers (E-Prime 1.1, SP3, Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) nach einem programmierten Algorithmus getroffen, so dass erst nach Abschluss der Versuche bekannt wurde, ob und mit welcher Geruchssubstanz stimuliert wurde. Die nächtliche olfaktorische Stimulation wurde jeweils in einem alternierenden Rhythmus von 30 Sekunden dargeboten bzw. pausiert, um olfaktorische Habituationsprozesse so gering wie möglich zu halten. Dieses Stimulationsmuster war ebenfalls durch das Olfaktometer automatisiert. Zugeschaltet wurde die Geruchsstimulation unter ständiger EEG-Kontrolle während der Tiefschlafphasen S3 und S4.

Einen Überblick über den Versuchsaufbau gibt Abbildung 3.1.

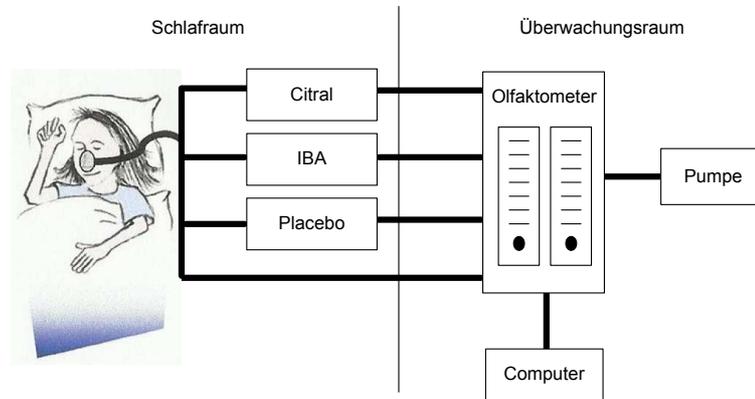


Abbildung 3.1.: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus für die nächtliche Geruchspräsentation modifiziert nach Rasch. Mit Hilfe des computergesteuerten Olfaktometers konnte während des Tiefschlafs jeweils die Hälfte des von der Pumpe erzeugten Luftstroms durch eine der im Zimmer befindlichen Glasflaschen geleitet werden. Geruchsstoff bzw. Placebosubstanz wurden hierbei nach einem programmierten Algorithmus ausgewählt. Die andere Hälfte des Luftstroms gelangte über eine weitere Schlauchleitung permanent in die Nasenmaske.

Zur Auswertung wurden die Versuchspersonen in drei Gruppen eingeteilt. Acht Probanden erhielten konsistent in der Lern- und den Tiefschlafphasen denselben Geruch (fünf IBA und drei Citral), sieben inkonsistent zwei verschiedene Gerüche (drei IBA während des Lernens und nachts Citral, vier umgekehrt) und zwölf nachts Placebo (jeweils sechs IBA bzw. Citral in der Lernphase)

3.3. Versuchsablauf

Abbildung 3.2 zeigt einen Überblick über den gesamten zeitlichen Ablauf des Experiments.

Die Versuchsnächte begannen gegen 20.30 Uhr. Zu Beginn füllten die Probanden einen allgemeinen Fragebogen (Anhang A.2) aus. Anschließend wurden die EEG-Elektroden für die spätere polysomnographische Aufzeichnung fixiert (s. Kapitel 3.4.1, Abb. 3.5) und eine Nasenmaske zur Geruchspräsentation angelegt.

3. Methoden



Abbildung 3.2.: Schematische Darstellung des zeitlichen Versuchsablaufs

Vor Beginn und nach Abschluss der anschließenden Lernphase mussten die Probanden noch einen Befindlichkeitsfragebogen (Anhang A.4) ausfüllen. Die Versuche wurden alle an einem Laptop am Schreibtisch im 'Schlafzimmer' der Probanden durchgeführt. Bevor die Geruchspräsentation begann, führten die Versuchsteilnehmer einen Reaktionstest durch, der als Kontrollvariable für die allgemeine Aufmerksamkeit der Probanden diente. Während dann über die Nasenmaske jeweils ein Geruch dargeboten wurde, folgte ein zweidimensionaler räumlich-visueller Gedächtnistest; im zweiten Test bekamen die Probanden über Kopfhörer Wortlisten präsentiert. Um eine ausreichende Riechleistung zu gewährleisten, wurde vor, zwischen und nach den Lernaufgaben jeweils ein olfaktorischer Detektionstest durchgeführt. Zum Schluss wurde der Reaktionstest als erneute Aufmerksamkeitskontrolle wiederholt. Ein Schema des zeitlichen Ablaufs der Lernphase zeigt Abbildung 3.3.

Gegen 23 Uhr gingen die Probanden zu Bett. Während der Tiefschlafphasen wurde ihnen der gleiche Geruch wie in der Lernphase (konsistente Bedingung), ein anderer Geruch als in der Lernphase (inkonsistente Bedingung) oder eine geruchslose Placebosubstanz (Placebobedingung) dargeboten. Direkt nach dem Wecken um ca 6.30 Uhr füllten alle Teilnehmer, nachdem die Geruchsmaske abgenommen war, noch im Bett einen Fragebogen über ihre Schlafqualität (Anhang A.5) aus. Anschließend wurden die Elektroden entfernt und die Probanden konnten sich frisch machen.

3. Methoden

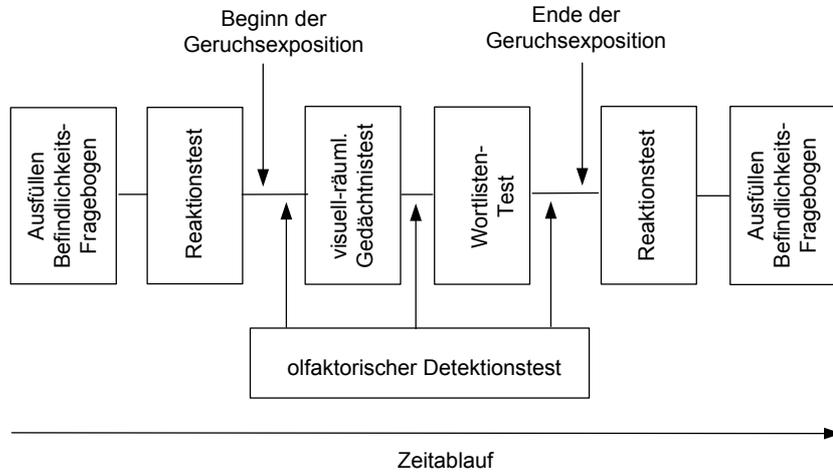


Abbildung 3.3.: Ablauf der Lernphase

Danach wurde in einem anderen Raum ohne Geruchspräsentation nach Ausfüllen eines Befindlichkeitsfragebogens der bereits bekannte Reaktionstest durchgeführt. Anschließend wurden die am Vortag erlernten Gedächtnisinhalte abgefragt. Außerdem sollten die Versuchsteilnehmer zur Kontrolle über die allgemeine Abruf-Funktion des Gedächtnisses jeweils in 2 Minuten so viele Wörter wie möglich mit Anfangsbuchstaben P bzw. M und Hobbies bzw. Berufe aufschreiben (Regensburger Wortflüssigkeits-Test, RWT). Dann folgte noch einmal der Reaktionstest. Zum Schluss füllten die Probanden noch einen Befindlichkeitsfragebogen und einen Fragebogen über die Teilnahme am Experiment (Anhang A.2) aus. Erfragt wurde unter anderem, ob die Teilnehmer ahnten, zu welcher Versuchsgruppe sie gehört hatten. Ein Schema des zeitlichen Ablaufs am Morgen zeigt Abbildung 3.4.

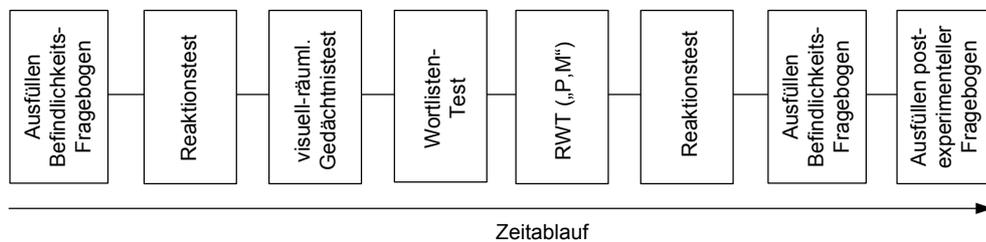


Abbildung 3.4.: Reihenfolge der Aufgaben am Morgen

3.4. EEG

3.4.1. Elektrodenpositionierung

Direkt nach ihrer Ankunft wurden bei den Probanden zwölf Kopfelektroden für die polysomnographische Aufzeichnung fixiert. Dazu wurde die Kopfhaut an den entsprechenden Stellen zunächst mit Desinfektionsmittel gesäubert und dann mittels Peeling leicht aufgeraut. Befestigt wurden die Elektroden anschließend mit einer elektrisch leitenden Paste oder einem Gel und Kleberingen. Für die Ableitung des EEGs wurden insgesamt 6 Elektroden auf dem Schädel (F3, F4, C3, C4, P3 und P4 nach dem internationalen 10-20 System), eine Referenzelektrode auf der Nase und eine Erdungselektrode auf der Stirn verwendet. Außerdem wurden eine Elektrode an der linken Schläfe und eine auf dem rechten Wangenknochen positioniert, um vertikale und horizontale Augenbewegungen mittels bipolarer Ableitungen im EOG registrieren zu können. Zwei weitere Elektroden am Kinn dienten zur Aufzeichnung der Muskelspannung. Abb. 3.5 zeigt schematisch die Anordnung aller Elektroden. Um eine optimale Leitfähigkeit zu gewährleisten, wurden nach Befestigung die Widerstände der Elektroden gemessen und diese gegebenenfalls neu befestigt.

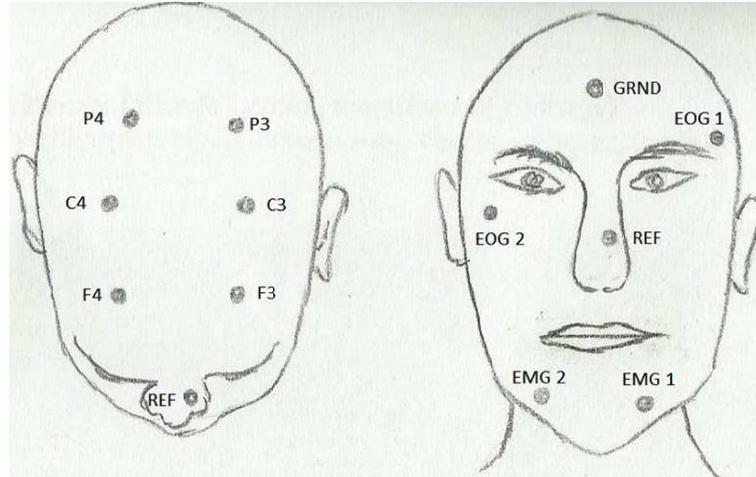


Abbildung 3.5.: Schema der Elektrodenanordnung zur Polysomnographie

3.4.2. Polysomnographische Aufzeichnung

Wenn die Probanden sich nach der Lernphase ins Bett gelegt hatten, wurden die EEG-Elektroden angeschlossen. Die Schlafableitung wurde während der gesamten Nachtruhe aufgezeichnet. Außerdem konnte sie im Überwachungsraum der Schlaflabore zeitgleich beobachtet werden, so dass die Schlaftiefe direkt eingeschätzt werden konnte. So war es möglich, die Geruchsstoffe jeweils in den wahrscheinlich für die Konsolidierung relevanten Tiefschlafphasen S3 und S4 zu präsentieren.

Um ein genaues Profil des Schlafes der Probanden zu erhalten, wurden die polysomnographischen Aufzeichnungen anschließend mit Hilfe des Programms 'Schlaf-Aus' in 30-Sekunden-Abschnitten nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) ausgewertet.

3.5. Aufgaben

3.5.1. Visuell-räumlicher Gedächtnistest

Wie auch alle anderen Tests führten die Probanden den visuell-räumlichen Gedächtnistest am Schreibtisch sitzend auf einem Laptop durch. Der Test ähnelte dem allgemein bekannten Memory und bestand aus 15 Kartenpaaren, die verschiedene Tiere oder Gegenstände des Alltags farbig abbildeten. Die Bilder waren in gleichen Abständen in einem Rechteck von 5x6 Karten angeordnet. Ziel des Tests war es, sich die Positionen der Kartenpaare mit demselben Motiv zu merken (intentionales Lernen). Im direkt folgenden Abruf wurde immer eine Karte gezeigt und die zugehörige Karte musste zugewiesen werden (expliziter Abruf).

Während des gesamten Tests waren alle möglichen Positionen der 30 Bilder durch graue Quadrate dargestellt, die die Kartenrückseiten symbolisierten. In der Lernphase wurde zunächst die Position der ersten Karte für eine Sekunde gezeigt, dann erschien zusätzlich die zweite Karte des Bildpaares; das Kartenpaar war für insgesamt drei Sekunden gemeinsam sichtbar. Nach einer Pause von drei Sekunden folgte die Präsentation des nächsten Kartenpaares in gleicher Weise. Alle Kartenpaare wurden so in zwei Durchgängen jeweils in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Direkt nach der Lernphase begann eine aktive Trainingsphase. Hier wurde den Probanden immer die erste Karte gezeigt und sie sollten die Position der zugehörigen Karte mit Hilfe der Computermaus anklicken. Hatten sie die richtige Position angezeigt, erschien für 500 ms ein grüner Haken

auf der Hinterseite der Karte, anschließend für zwei Sekunden das Bild. Im Fall einer falschen Zuordnung erschien zuerst auf der angezeigten Position ein rotes Kreuz, danach wurde auch hier das Motiv an der richtigen Stelle präsentiert. So konnten die Probanden sich die richtige Position erneut einprägen. Zwischen zwei Bildpaaren wurden jeweils für drei Sekunden die grauen Quadrate gezeigt. Die Abfrage der Kartenpaare wurde solange wiederholt, bis in einem Durchgang mindestens 60% der Antworten richtig waren, was einer Zuordnung von 9 Kartenpaaren entspricht. Anders als beim bekannten Memory-Spiel wurden die Karten nach richtiger Zuordnung bei diesem Test nicht entfernt, sondern erschienen auch weiterhin als graue Quadrate. So konnte die Ratewahrscheinlichkeit konstant gehalten werden. Die Präsentation des Geruchs begann jeweils mit dem Anzeigen der ersten Karte des Bildpaares und endete, wenn beide Karten wieder verdeckt waren. Wer mehr als fünf Durchgänge für den erfolgreichen Abschluss der Lernphase benötigte, wurde aus der Studie ausgeschlossen.

Am nächsten Morgen wurde die Erinnerungsleistung ohne Geruchspräsentation abgefragt. Dazu wurde in einem Durchgang wieder jeweils die erste Karte eines Bildpaares gezeigt und die Versuchspersonen sollten die zweite per Mausklick zuordnen. Die Anordnung der Bilder entsprach hierbei der vom Vorabend und es wurde kein weiterer Lernzyklus mehr durchgeführt. Um die nächtliche Gedächtnisbildung bestimmen zu können, wurde der prozentuale Anteil der morgens richtig erinnerten Bildpaare in Relation gesetzt zu dem der im letzten Durchgang des Abends richtig zugeordneten. So konnten mehr als 100% erreicht werden, falls während des morgendlichen Abrufs mehr Karten richtig gezeigt wurden als am Ende der abendlichen Lernphase. Dies lässt sich u.a. dadurch erklären, dass die Probanden auch im letzten Durchlauf der Trainingsprozedur am Abend durch die visuelle Rückmeldung bei falsch erinnerten Karten noch weiter lernen konnten.

3.5.2. 'False Memories' (Wortlisten)

Bei diesem Test hörten die Versuchspersonen über Kopfhörer 8 Wortlisten à 12 Wörter (s. Anhang A.3). Innerhalb einer Liste wurde jeweils alle drei Sekunden das nächste Wort angesagt, zwischen den einzelnen Listen waren Pausen von zwanzig Sekunden. Die Wortlisten waren erstellt nach dem DRM-Paradigm, d.h. die Wörter einer Liste kamen alle aus einem Themenbereich, der eigentliche Überbegriff fehlte jedoch. Während der Ansage wurde den Probanden der gleiche Geruch wie auch bereits im olfaktorischen Detektionstest und zum Memory präsentiert.

Am nächsten Morgen wurden die Versuchspersonen zunächst aufgefordert, auf einem leeren Blatt Papier möglichst viele erinnerte Wörter aufzuschreiben. Diese mussten dazu weder in Listen

zusammengefasst werden noch gab es eine Zeiteinschränkung. Anschließend folgte ein Wiedererkennungstest am Laptop. Hierbei wurde jeweils ein Wort vorgeschlagen. Präsentiert wurden tatsächlich gehörte Wörter, die zu den Wortlisten passenden Überbegriffe (False Memories) und unabhängige Kontrollwörter (Ablenkungswörter). Die Versuchspersonen mussten zuerst zuordnen, ob es sich um ein 'altes', also am Vortag in einer der Listen genanntes, oder um ein 'neues', aus den Listen unbekanntes Wort handelte. Außerdem mussten sie auf einer Skala von 4 Stufen einteilen, wie sicher sie sich mit dieser Angabe waren. Falls das Wort als 'alt' eingestuft worden war, folgte nun eine weitere Einteilung in 'Erinnern', 'Wissen' und 'Raten'. 'Erinnern' symbolisierte, dass die Probanden sich noch genau an die Situation des Worthörens erinnern konnten, also z.B. die Betonung, die Position und Nummer der Liste etc. Falls sie sich nur sehr sicher waren, dass das Wort abends vorgelesen worden war, entschieden sich die Probanden für 'Wissen', und 'Raten' zeigte an, dass sie das Wort möglicherweise gehört hatten.

Die frei aufgeschriebenen Wörter wurden vor der Auszählung in Gruppen eingeteilt. Es wurde unterschieden zwischen richtigen Wörtern, Wörtern die den Listen als Überbegriffe zugeordnet werden könnten (False Memories) und sonstigen falschen Wörtern.

3.5.3. Kontrolltests

Riechtest 'Sniffin´ Sticks'

Bereits vor der Teilnahme an den Experimenten wurde ein Riechschwellentest durchgeführt, um sicherzugehen, dass alle Probanden eine ausreichende Riechleistung hatten. Dazu wurden Riechstifte mit dem Duftstoff n-Butanol in verschiedenen Konzentrationen im Vergleich zu geruchlosen Placebostiften verwendet. Insgesamt waren 16 Geruchsstufen (rote Stifte) mit jeweils zwei Placebos (grün und blau), also 48 Stifte, vorhanden. Während des Tests waren die Versuchspersonen durch eine Augenbinde verblindet. Zuerst wurde der Stift mit der höchsten Konzentration (Nr. 1) angeboten, um die Probanden mit dem gesuchten Geruch vertraut zu machen. Anschließend wurden, beginnend mit der höchsten Verdünnungs- und damit niedrigsten Konzentrationsstufe, immer die drei Stifte der gleichen Nummer im Abstand von ca. fünf Sekunden in zufälliger Reihenfolge hintereinander direkt vor die Nase gehalten und der Proband musste angeben, welchen er als riechend empfunden hatte. Auch auf Nachfrage war die wiederholte Darbietung eines Triplets nicht möglich. Bis der erste Duftstift richtig erkannt war, wurde, um den Erkennungsprozess zu beschleunigen, nur jede zweite Verdünnungsstufe, also Nr. 16, 14, 12 usw., angeboten. Wenn der Proband den Riechstoff richtig identifiziert hatte, wurde ihm dieselbe Stiftkombinati-

on ein zweites Mal angeboten, um sicherzustellen, dass er nicht nur richtig geraten hatte. War eine Verdünnungsstufe sicher korrekt erkannt, wurde diese vermerkt, und der Versuchsperson anschließend wieder die Stiftkombination der nächstniedrigeren Konzentration dargeboten. Wurde auch diese richtig (d.h. zweimal) identifiziert, wurde die nächstniedrige Konzentrationsstufe angeboten usw., solange bis die Versuchsperson eine falsche Entscheidung traf. Die fehlerhaft bezeichnete Konzentrationsstufe wurde ebenfalls notiert und der Proband musste sich erneut zwischen den Proben, die den Stift mit der nächsthöheren Konzentration enthielten, entscheiden. Hatte er wieder eine Konzentrationsstufe zweimal korrekt identifiziert, wurde diese markiert und wieder zu den höheren Verdünnungsstufen übergegangen. Diese Prozedur wiederholte sich solange, bis sieben Wendepunkte markiert waren. Die Geruchsschwelle ergab sich dann aus dem Mittelwert der vier zuletzt notierten Werte.

Olfaktorischer Detektionstest

Beim olfaktorischen Detektionstest wurde den Versuchspersonen in zufälliger Reihenfolge jeweils entweder der jeweilige Duftstoff des Abends oder die geruchlose Placebosubstanz über die Nasenmaske präsentiert. Insgesamt zehnmal pro Test wurde auf dem Bildschirm ein Fragezeichen gezeigt, woraufhin die Probanden '1' drücken sollten, falls sie dachten, den Duftstoff zu riechen oder '0' drücken, wenn sie der Meinung waren, die Placebosubstanz präsentiert zu bekommen. So konnte sichergestellt werden, dass weder ein technischer Defekt vorlag noch das Riechvermögen der Probanden eingeschränkt war. Anschließend folgten noch einige Fragen, in denen die Qualität des Duftstoffes auf einer Skala von 0 bis 9 eingeschätzt werden sollte. Gefragt wurde nach Intensität, emotionaler Valenz, Erregung und stechendem Eindruck.

Reaktionstest

Um die allgemeine Aufmerksamkeit der Probanden zu überprüfen, erschien beim Reaktionstest auf dem Bildschirm jeweils ein schwarzes Kreuz, meist gefolgt von einem roten Punkt (Durchmesser ca. 10 cm). Sobald der rote Punkt zu sehen war, sollten die Probanden die Leertaste drücken. Anschließend wurde ihnen ihre Reaktionszeit in ms angezeigt. Manchmal erschien nach dem schwarzen Kreuz der rote Punkt nicht. Die Probanden waren angewiesen, in diesem Fall die Leertaste auch nicht zu betätigen, da dies als Fehler gewertet wurde.

Regensburger Wortflüssigkeits-Test (RWT)

Zur Kontrolle über die allgemeine Abruf-Funktion des Gedächtnisses wurde ein Regensburger Wortflüssigkeitstest (Aschenbrenner et al., 2000) durchgeführt. Dazu sollten die Probanden in zwei Minuten zunächst möglichst viele Wörter mit dem Anfangsbuchstaben P bzw. M aufschreiben. Diese Worte waren unabhängig von den gelernten Listen; es musste sich aber um deutschsprachige Wörter handeln, die auch in einem Lexikon zu finden sind. Außerdem durften die Probanden keine Namen notieren, wobei auch Städte und Länder als Namen gewertet wurden. Ebenfalls nicht erlaubt waren Wörter desselben Wortstamms (wie z.B. Müllmann, Müllabfuhr, Mülltonne usw.). Anschließend erhielten die Probanden ein neues Blatt Papier und sollten darauf in zwei Minuten möglichst viele Hobbies bzw. Berufe schreiben.

3.6. Fragebögen

3.6.1. Allgemeiner Versuchspersonenfragebogen

Vor ihrer Teilnahme am Experiment füllten die Versuchspersonen einen allgemeinen Fragebogen (Anhang A.2) aus. Dieser umfasste persönliche Angaben und Fragen zu Schlafgewohnheiten und aktuellen Begebenheiten. Ein zweiter Teil des Fragebogens folgte morgens nach Abschluss der Aufgaben. Darin wurden den Probanden Fragen zum Experiment gestellt und sie erhielten die Möglichkeit, Kritik zu äußern.

3.6.2. Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen

Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF, Anhang A.4; Steyer et al., 1994) dient zur Überprüfung von Stimmung, Wachheit bzw. Müdigkeit und Ruhe bzw. Ruhelosigkeit. Diese Bewertungsparameter werden jeweils durch vier Adjektive repräsentiert. Insgesamt füllten die Probanden den Befindlichkeitsfragebogen viermal aus (vor und nach Lern- bzw. Abrufphase).

3.6.3. Schlafqualitätsfragebogen

Direkt nach dem Aufwachen wurde ein Fragebogen über die Schlafqualität (Anhang A.5) erhoben. Dieser erfasste subjektive Ein- und Durchschlafqualität bzw. -störungen.

3.7. Statistische Auswertung

Die Daten von 2 Versuchspersonen konnten nicht in die Auswertung der Studie mit eingehen, weil sie keine ausreichende Leistung in den Gedächtnistests erbrachten. Für die statistische Auswertung dienten somit die Daten von 27 Probanden, davon 11 männliche und 16 weibliche (Tabelle 3.1). Durchgeführt wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA), wobei die Unterschiede zwischen konsistenter, inkonsistenter und Placebobedingung analysiert wurden. Bei signifikanten Haupteffekten dienten zusätzlich Post Hoc Tests zur weiteren Spezifizierung. Angegeben sind jeweils die Mittelwerte mit den Standardfehlern. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgelegt.

Versuchsbedingung	männlich	weiblich	insgesamt
konsistent	3	5	8
inkonsistent	3	4	7
Placebo (nachts kein Geruch)	5	7	12
insgesamt	11	16	27

Tabelle 3.1.: Verteilung der Probanden auf die Versuchsbedingungen

4. Ergebnisse

4.1. Memory (visuell-räumlicher Gedächtnistest)

Beim Lernen des Memorys zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen ($p > 0,13$). Die Probanden der konsistenten Gruppe lernten abends durchschnittlich 9,5 Kartenpaare mit einem Standardfehler von $\pm 0,38$, die der inkonsistenten Gruppe $10,6 \pm 0,37$ und die der Placebogruppe $10,0 \pm 1,04$. Dies (über 60 Prozent) erreichten sie nach $2,89 \pm 0,28$ Versuchen.

Am nächsten Morgen zeigte sich zwar kein Unterschied in der Anzahl der zugeordneten Kartenpaare ($p = 0,18$, siehe auch Tabelle 4.1), es fielen jedoch signifikante Differenzen beim Vergleich des Leistungszuwachses auf. Die Versuchspersonen unter konsistenten Bedingungen ordneten morgens im Vergleich zum Vorabend $113 \pm 7,71\%$ der Kartenpaare richtig zu, die unter inkonsistenten Bedingungen $98 \pm 4,94\%$ und die unter Placebobedingung $93 \pm 3,27\%$ (Abbildung 4.1). In der einfaktoriellen ANOVA ergab sich damit ein p-Wert von 0,034. Im anschließenden Einzelvergleich zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen konsistenter und Placebogruppe ($p = 0,01$). Zwischen konsistenter und inkonsistenter Gruppe konnte zwar kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, es zeigte sich jedoch ein eindeutiger statistischer Trend ($p = 0,07$). Inkonsistente und Placebogruppe unterschieden sich nicht wesentlich ($p > 0,5$).

4. Ergebnisse

	Lernphase abends	Recall morgens	absolute Differenz	relative Differenz [%]
konsistent	9,5 ± 0,38	10,6 ± 0,65	1,1 ± 0,74	113 ± 7,71
inkonsistent	10,5 ± 0,37	10,2 ± 0,52	-0,3 ± 0,52	98 ± 4,94
Placebo (kein Geruch)	10,0 ± 0,30	9,3 ± 0,41	-0,7 ± 0,31	93 ± 3,27
p-Wert	0,16	0,18	0,047	0,034

Tabelle 4.1.: Richtig zugeordnete Kartenpaare im Vergleich

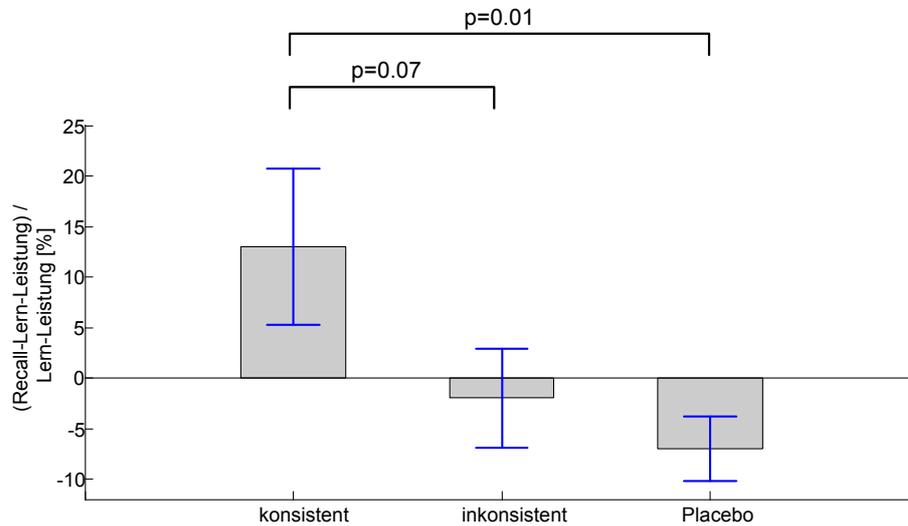


Abbildung 4.1.: Richtig zugeordnete Kartenpaare: Recall-Leistung relativ zum Lernergebnis am Vorabend in Prozent (dargestellt sind jeweils Mittelwert ± Standardfehler, bei relevanten statistischen Ergebnissen außerdem die p-Werte)

Ergänzend erfolgte zudem die getrennte Auswertung der Probandengruppen je nach abendlicher Geruchsexposition (Citral, IBA).

Die Probanden, die während des Lernvorgangs dem Geruchsstoff Citral exponiert waren, lernten abends durchschnittlich $9,0 \pm 0,0$ (konsistent), $10,8 \pm 0,63$ (inkonsistent) bzw. $10,7 \pm 0,33$ (Placebo) Kartenpaare (kein signifikanter Unterschied, $p=0,08$). Im Vergleich zum Vorabend ordneten die Versuchspersonen der Citral-Untergruppe am nächsten Morgen $115 \pm 18,5\%$ (konsistent), $91 \pm 3,7\%$ (inkonsistent) bzw. $95 \pm 2,1\%$ der Kartenpaare richtig zu. Rein deskriptiv scheint auch hier die konsistente Gruppe besser als die beiden anderen abzuschneiden, ein signifikanter Unterschied ergibt sich allerdings nicht ($p=0,07$).

In der Probandengruppe, die abends unter Exposition mit IBA lernte, wurden abends zuletzt $9,8 \pm 0,58$ (konsistent), $10,3 \pm 0,33$ (inkonsistent) bzw. $9,3 \pm 0,21$ (Placebo) Kartenpaare richtig zugeordnet (kein signifikanter Unterschied, $p=0,32$). Im morgendlichen Vergleich erreichten die Probanden dann $111 \pm 7,9\%$ (konsistent), $106 \pm 8,8\%$ (inkonsistent) bzw. $91 \pm 6,4\%$ (Placebo) der Leistung vom Vorabend. Auch in der IBA-Untergruppe ergibt sich dabei kein signifikanter Unterschied ($p=0,16$), deskriptiv erreicht jedoch die konsistente Gruppe den höchsten Lernzuwachs.

4.2. Wortlisten ('False Memories')

Die Versuchspersonen der konsistenten Gruppe erkannten $86,12 \pm 3,09\%$ der abends gehörten Wörter korrekt wieder, die der inkonsistenten Gruppe $85,86 \pm 4,36\%$ und die der Placebogruppe $86,00 \pm 4,64\%$. Allerdings ordneten die Teilnehmer auch $26,88 \pm 10,15\%$ (konsistente Gruppe), $37,71 \pm 10,21\%$ (inkonsistente Gruppe) bzw. $36,67 \pm 6,76\%$ (Placebogruppe) der False Memories, also der nicht gehörten Überbegriffe, den bekannten Wörtern zu. Die Ablenkungswörter wurden in $87,75 \pm 6,44\%$ (konsistente Gruppe), $83,14 \pm 6,25\%$ (inkonsistente Gruppe) bzw. $89,25 \pm 3,09\%$ (Placebogruppe) richtig als unbekannt bezeichnet. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei der passiven Wiedererkennung nicht ($p>0,65$).

Im freien Recall gaben die Probanden der konsistenten Gruppe durchschnittlich $37,13 \pm 5,74$, die der inkonsistenten Gruppe $31,14 \pm 4,99$ und die der Placebogruppe $39,33 \pm 3,28$ Wörter richtig wieder. Außerdem fanden sich in ihren Listen $2,25 \pm 1,49$ (konsistente Gruppe), $2,14 \pm 0,77$ (inkonsistente Gruppe) bzw. $2,33 \pm 0,33$ False Memories und $4,75 \pm 1,92$ (konsistente Gruppe), $3,43 \pm 0,96$ (inkonsistente Gruppe) bzw. $1,83 \pm 0,30$ (Placebogruppe) absolut falsche Wörter. Auch hierbei konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($p>0,16$).

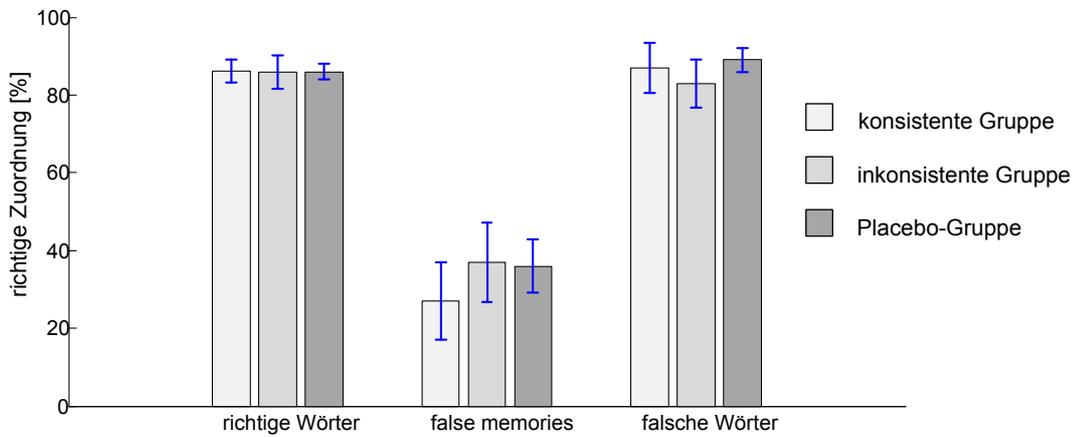


Abbildung 4.2.: Wiedererkennung des Inhalts der Wortlisten am Computer

Dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler des Anteils der vom Computerprogramm vorgegeben richtigen Wörter/Überbegriffe/Ablenkungswörter, die vom Probanden als „bekannt“ (richtige Wörter, Überbegriffe) bzw. „unbekannt“ (Ablenkungswörter) eingeordnet wurden.

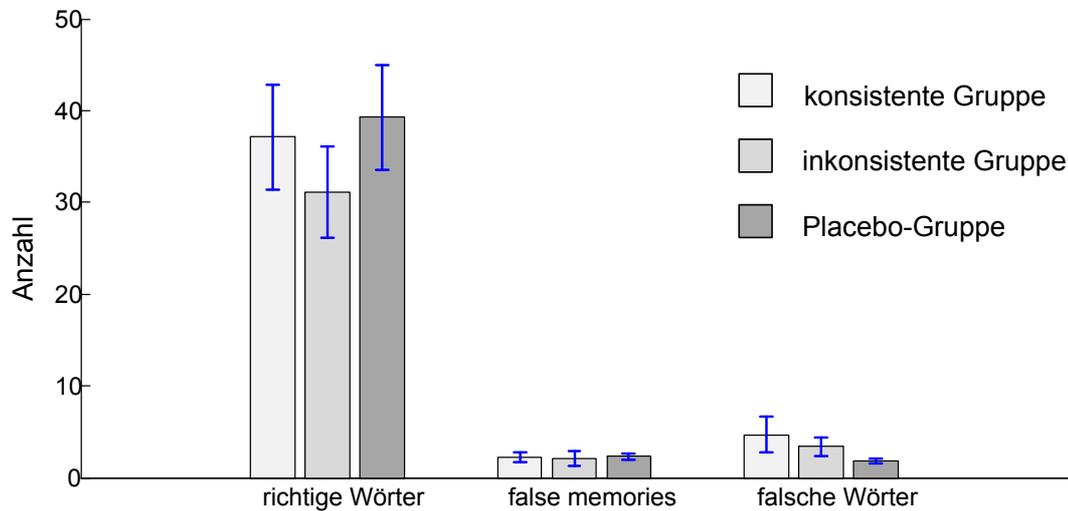


Abbildung 4.3.: Freie Wiedergabe der Wortlisten

Dargestellt ist jeweils die Anzahl der angegebenen richtigen Wörter/Überbegriffe/absolut falschen Wörter (Mittelwert \pm Standardfehler).

4.3. Selbsteinschätzung

Nach Ablauf der Versuchsnacht wurden die Probanden befragt, ob sie einschätzen konnten, welchen bzw. ob sie während des Tiefschlafs einen Geruch präsentiert bekommen hatten. Nur ein einziger Proband erriet die stattgehabten Versuchsbedingungen. Die Ergebnisse der Befragung finden sich in Tabelle 4.2.

Versuchsbedingung	kein Geruch	derselbe Geruch	ein anderer Geruch	keine Vermutung	Summe
konsistent	5	0	3	0	8
inkonsistent	1	3	0	3	7
Placebo (kein Geruch)	1	1	1	9	12
Summe	7	4	4	12	27

Tabelle 4.2.: Vermutung der Probanden über die Geruchsbedingungen

4.4. Schlafdaten

Die Auswertung der Schlafdaten zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p > 0,19$). Die Gesamtschlafdauer in Minuten und den prozentualen Anteil der einzelnen Schlafstadien zeigen Tabelle 4.3 und Abbildung 4.4.

	konsistente Gruppe	inkonsistente Gruppe	Placebogruppe	p-Wert
Gesamtschlafdauer	439,50 ± 11,00	437,64 ± 23,51	456,46 ± 13,60	0,63
Wach	1,52 ± 0,77	7,43 ± 4,32	3,54 ± 0,94	0,20
Schlafstadium 1	5,01 ± 0,58	5,65 ± 1,25	7,01 ± 0,65	0,19
Schlafstadium 2	52,68 ± 2,89	50,44 ± 3,96	51,93 ± 1,78	0,86
Tiefschlaf	18,04 ± 2,62	18,70 ± 2,43	17,21 ± 1,79	0,89
REM-Schlaf	21,85 ± 2,34	16,92 ± 1,65	19,51 ± 1,46	0,23

Tabelle 4.3.: Gesamtschlafdauer in Minuten und zeitlicher Anteil der einzelnen Schlafstadien in Prozent (Mittelwert ± Standardfehler)

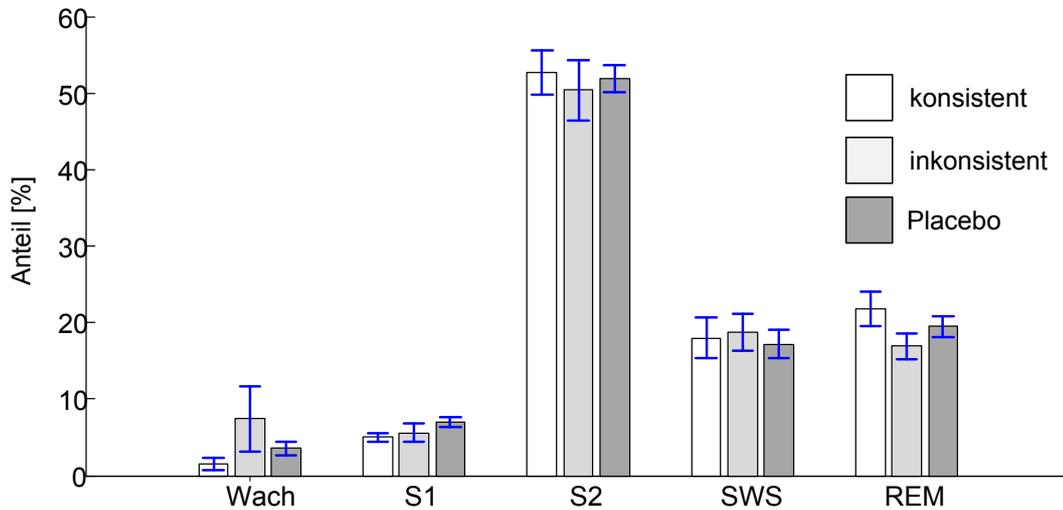


Abbildung 4.4.: Dauer der einzelnen Schlafstadien in den Versuchsgruppen in Prozent der Gesamtschlafdauer (S1: Schlafstadium 1, S2: Schlafstadium 2, SWS: Slow Wave Sleep entsprechend Schlafstadium 3 und 4, REM: Rapid Eye Movements-Schlaf); dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler

4.5. Nächtliche Geruchsstimulation

Die Dauer der Geruchsstimulation richtete sich nach den SWS-Anteilen des Nachtschlafes. Probanden der konsistenten Gruppe erhielten durchschnittlich $76,88 \pm 5,13$ Stimulationen à 30 Sekunden, Probanden der inkonsistenten $64,57 \pm 5,77$ und Probanden der Placebogruppe $59,41 \pm 5,40$ Stimulationen (Abbildung 4.5). Der Vergleich zwischen den Gruppen zeigt lediglich einen statistischen Trend ($p=0,092$). Vor allem im entscheidenden Einzelvergleich zwischen konsistenter und inkonsistenter Gruppe zeigt sich kein signifikanter Unterschied ($p=0,168$), lediglich konsistente und Placebogruppe unterschieden sich signifikant ($p=0,03$).

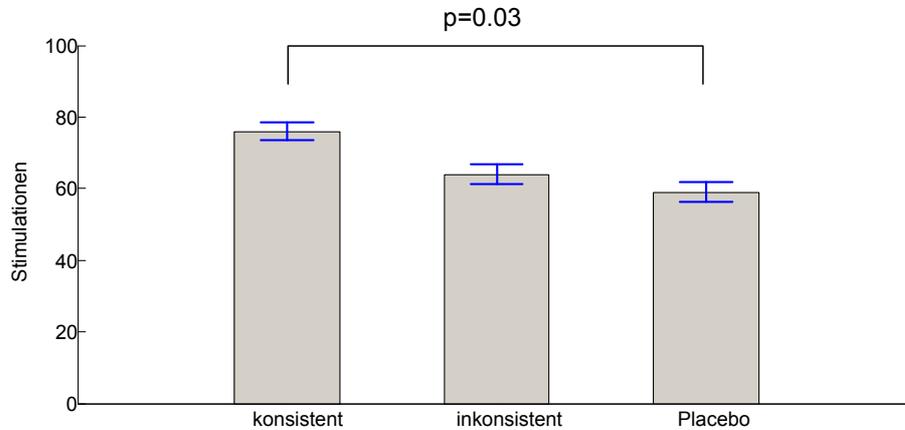


Abbildung 4.5.: Anzahl an nächtlichen Geruchsstimulationen in den einzelnen Gruppen (dargestellt ist jeweils der Mittelwert \pm Standardfehler)

4.6. Kontrolltests

4.6.1. Rückmeldung der Probanden zum Experiment

Auf einer Skala von 0 („gar nicht“) bis 4 („sehr“) gaben die Probanden jeweils an, wie gut ihnen das Experiment gefallen hatte, wie schwierig ihnen die Lösung der Fragen vorgekommen war und wie motiviert sie bei der Bearbeitung der Aufgaben waren. Bei der Frage nach dem Gefallen am Experiment gaben die Probanden einen Wert von $3,00 \pm 0,15$ an, wobei die Mittelwerte der konsistenten Gruppe und der Placebogruppe knapp höher als der Gesamtdurchschnitt lagen, der Mittelwert der inkonsistenten Gruppe aber nur bei $2,43 \pm 0,37$. Ein signifikanter Unterschied konnte in der ANOVA aber nicht festgestellt werden ($p=0,07$). Die Schwierigkeit der Aufgaben schätzten alle Probanden ähnlich auf $1,77 \pm 0,15$ ein ($p=0,52$). Bei der Motivation ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,013$ in der einfaktoriellen ANOVA), wobei die einzelnen Werte bei $3,13 \pm 0,23$ (konsistent), $2,29 \pm 0,42$ (inkonsistent) und $3,45 \pm 0,16$ (Placebo) lagen. Im anschließenden post-Hoc-Test zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl zwischen konsistenter und inkonsistenter Gruppe ($p=0,042$) als auch zwischen inkonsistenter Gruppe und Placebogruppe ($p=0,004$). Konsistente Gruppe und Placebogruppe unterschieden sich nicht signifikant ($p=0,356$). Dargestellt werden die Ergebnisse in Abbildung 4.6.

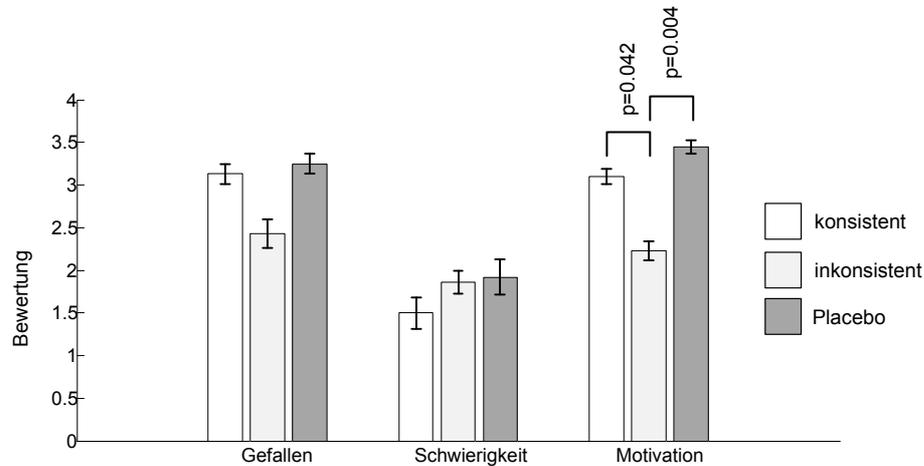


Abbildung 4.6.: Gefallen am Experiment, Schwierigkeit der Aufgaben und Motivation der Probanden (0 entsprechend „gar nicht“, 4 entsprechend „sehr“, dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler) sowie p-Werte bei signifikanten Unterschieden

4.6.2. Schlafqualitätsfragebogen

Zur Auswertung der allgemeinen Schlafqualität wurden die Versuchspersonen auf einer Skala von 0 („nicht“) bis 4 („sehr“) nach einzelnen Teilaspekten („gleichmäßig“, „tief“, „gut“, „entspannt“, „ungestört“, „ruhig“ und „ausgiebig“, s. auch Anhang A.5) befragt. Die statistische Auswertung der Angaben erfolgte anschließend mittels einfaktorieller ANOVA anhand des Mittelwerts. Die Probanden der konsistenten Geruchsgruppe gaben einen Wert von $2,59 \pm 0,18$, die der Placebogruppe von $2,56 \pm 0,19$ an; der Wert der inkonsistenten Gruppe lag dagegen nur bei $1,76 \pm 0,12$ (Abbildung 4.7). Bei Nachweis eines signifikanten Unterschieds ($p=0,009$) wurde die Varianzanalyse noch durch einen post-Hoc-Test ergänzt. Hier zeigten sich im Einzelvergleich signifikante Unterschiede zwischen konsistenter und inkonsistenter Gruppe ($p=0,007$) sowie zwischen inkonsistenter Gruppe und Placebogruppe ($p=0,005$). Konsistente Gruppe und Placebogruppe unterschieden sich nicht signifikant ($p=0,906$).

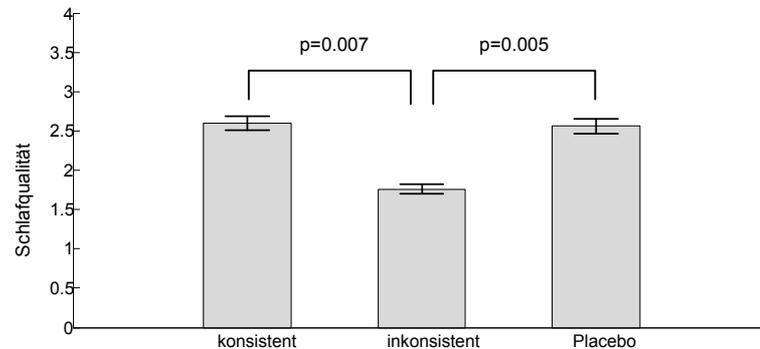


Abbildung 4.7.: Allgemeine Schlafqualität der einzelnen Gruppen (subjektive Einschätzung), 0 entsprechend „nicht“, 4 entsprechend „sehr“, wobei der Mittelwert der Teilaspekte „gleichmäßig“, „tief“, „gut“, „entspannt“, „ungestört“, „ruhig“ und „ausgiebig“ verwendet wurde; dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler sowie p-Werte bei signifikanten Unterschieden

Bei der Beantwortung der übrigen Fragen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,26$). Die Probanden gaben an, nachts noch $1,85 \pm 0,49$ Mal aufgewacht zu sein. Auf die Frage nach Träumen (0 entspricht nein, 1 Träume ohne bekannten Inhalt und 2 Träume mit erinnerten Trauminhalt) ergab sich ein Mittelwert von 0,67. Hierbei fiel auf, dass Probanden der inkonsistenten Gruppe eher weniger und Probanden der Placebogruppe wohl lebhafter geträumt hatten, ein signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht festgestellt werden ($p = 0,519$). Personen, die geträumt hatten, sollten außerdem noch angeben, wie ihre Gefühle während der Träume gewesen waren (0 entspricht neutralen, +1 angenehmen und -1 unangenehmen Traumgehalten). Insgesamt hielten sich die Valenzen dabei die Waage (keine signifikanten Unterschiede, $p = 0,26$). Einige Probanden aus allen Gruppen gaben an, nachts leicht geschwitzt zu haben und ein Proband aus der Placebogruppe litt morgens an leichten Kopfschmerzen. Wie bei der allgemeinen Schlafqualität wurde auch bei der Stimmung abends und morgens nach einzelnen Teilaspekten mit Antwortmöglichkeiten auf einer Skala von 0 bis 4 gefragt. Die Mittelwerte der drei Gruppen zeigten sich bei diesen Fragen sehr ähnlich (abendliche Stimmung/Müdigkeit $2,33 \pm 0,10$ und morgendliche Stimmung/Energie $2,08 \pm 0,13$).

4.6.3. Befindlichkeitsfragebögen

Ausgewertet wurden die subjektiven Parameter Grundstimmung, Wachheit/Müdigkeit und Ruhe/Ruhelosigkeit abends und morgens. Die Probanden beantworteten pro Teilaspekt jeweils 4 Fragen, wobei eine Skala von 1 („überhaupt nicht“) bis 5 („sehr“) verwendet wurde. Durch Addition konnten damit maximal 20 Punkte erreicht werden. Die statistische Auswertung erfolgte anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse der Mittelwerte. Es fiel auf, dass die Probanden der Placebogruppe im Vergleich mit den beiden anderen Gruppen morgens signifikant höhere Punktwerte im Bereich Ruhe aufwiesen ($p=0,046$ in der ANOVA, im Einzelvergleich $p=0,032$ zwischen konsistenter und Placebogruppe bzw. $p=0,045$ zwischen inkonsistenter und Placebogruppe). Die anderen Teilaspekte unterschieden sich nicht signifikant ($p>0,07$). Die Darstellung der Werte zeigt Abbildung 4.8.

4. Ergebnisse

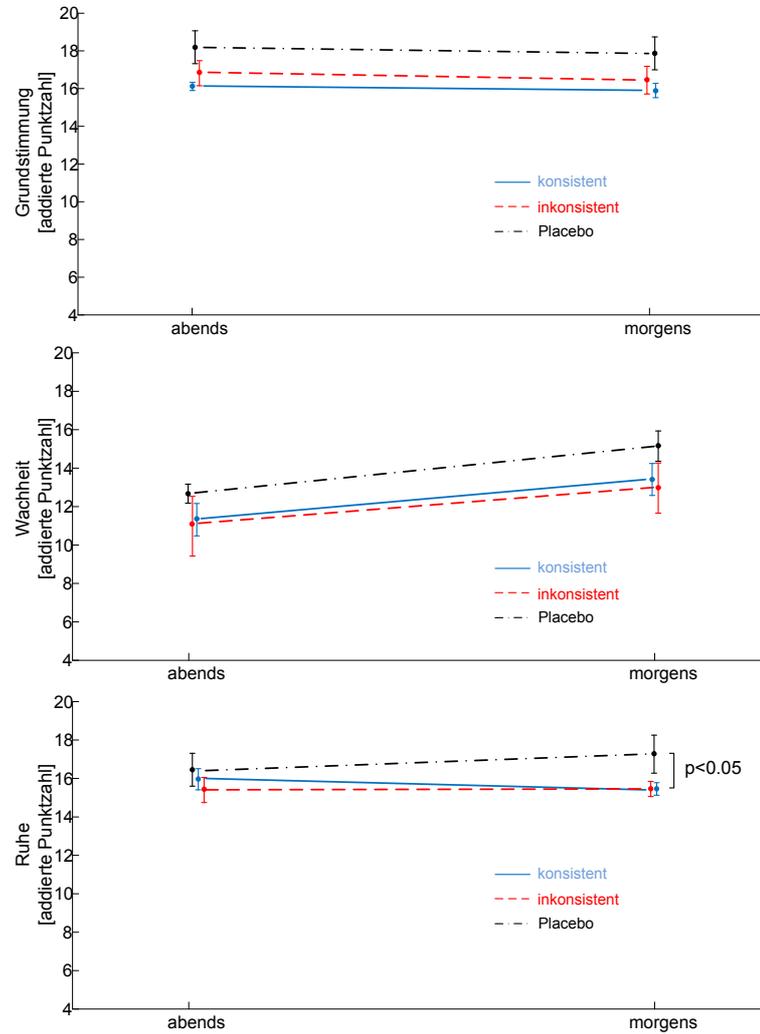


Abbildung 4.8.: Angaben der Probanden zu ihrer Befindlichkeit (dargestellt sind die Mittelwerte der addierten Punktzahlen \pm Standardfehler; zudem markiert ist der signifikante Unterschied)

4.6.4. Reaktionstest

Zur Auswertung des Reaktionstests wurden jeweils die Durchschnittswerte abends (vor und nach der Lernaufgabe) und morgens (vor und nach der Abfrage) gebildet. Obwohl die Probanden der Placebogruppe geringfügig kürzere Reaktionszeiten hatten (Abbildung 4.9), zeigten sich

weder im Gruppenvergleich noch beim Vergleich der Zeitpunkte signifikante Unterschiede in der einfaktoriellen Varianzanalyse ($p > 0,15$).

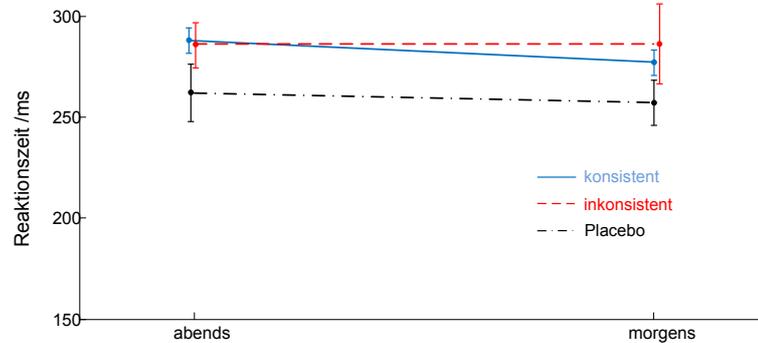


Abbildung 4.9.: Reaktionszeiten zwischen Erscheinen des Stimulus am Bildschirm und Tastenbetätigung durch die Probanden (dargestellt sind jeweils Mittelwert \pm Standardfehler der einzelnen Gruppen)

4.6.5. Olfaktorischer Detektionstest

Beim Geruchstest während des Lernens zeigte sich kein Unterschied. Die Probanden aller Gruppen lagen in 90,62 Prozent der Fälle richtig bei der Einschätzung zwischen Geruch und Placebo ($p > 0,39$).

Leider fehlten zur Auswertung der Befragung nach der Qualität des Duftstoffs die Daten von zwei Versuchspersonen aus unersichtlichen Gründen. In Bezug auf Intensität, Erregung und stechenden Eindruck ergaben sich in der Auswertung von 25 Probanden (14 'IBA', 11 'Citral') keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,11$). Wie bereits erwartet, empfanden die Probanden allerdings den Geruchsstoff 'Citral' angenehmer als 'IBA'. Auf einer Skala von 0 (entsprechend 'unangenehm') bis 9 (entsprechend 'sehr angenehm') zeigte sich für 'Citral' ein Mittelwert von $6,7 \pm 0,41$, für 'IBA' ein Mittelwert von $5,0 \pm 0,48$.

4.6.6. Regensburger Wortflüssigkeits-Test

Bei den Abfragen der allgemeinen Abruf-Funktion des Gedächtnisses fielen keine Unterschiede zwischen den Gruppen auf ($p > 0,72$). Die Probanden gaben durchschnittlich $18,4 \pm 0,92$ Hob-

bys/Berufe bzw. $18,0 \pm 1,11$ Wörter mit dem Anfangsbuchstaben P/M an.

4.6.7. Riechtest 'Sniffin' Sticks'

Im Riechschwellentest vor Teilnahme am Experiment ergab sich bei maximal 16 möglichen Punkten unter allen Probanden ein Durchschnittswert von $10,1 \pm 0,48$; im Gruppenvergleich in der konsistenten Gruppe $9,7 \pm 0,78$, in der inkonsistenten Gruppe $11,4 \pm 1,06$ und in der Placebo-Gruppe $9,6 \pm 0,69$. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen konnte ausgeschlossen werden ($p=0,29$).

5. Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Wirkung von Duftstoffen auf die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte untersucht. Es zeigte sich eine bessere Erinnerungsleistung bei Präsentation desselben Geruches während des Lernens und darauffolgender Tiefschlafphasen im Gegensatz zu inkonsistenten Geruchs- bzw. Placebobedingungen. Dies bestätigt die Hypothese, dass ein während der Lernphase präsentierter und daher mit bestimmten Lerninhalten assoziierter Geruch bei wiederholter Darbietung während des Tiefschlafs die Konsolidierung dieser Inhalte fördert.

Um sicherzugehen, dass die Grundbedingungen in allen Versuchsgruppen möglichst die gleichen waren, wurden neben den eigentlichen Aufgaben noch einige Kontrolltests durchgeführt und die Probanden sollten eine Reihe von Fragebögen beantworten. Außerdem wurden männliche und weibliche Studienteilnehmer möglichst gleichmäßig auf die einzelnen Gruppen verteilt, da es zwischen den Geschlechtern Unterschiede bei duftassoziiertem Lernen geben kann (Kirk-Smith et al., 1983). Vernachlässigt wurde allerdings, dass es außerdem bei Frauen innerhalb des menstruellen Zyklus zu Unterschieden in der Geruchsempfindungsfähigkeit kommt (Doty et al., 1981). Mögliche circadiane Unterschiede (Krishnan et al., 1999; Nordin et al., 2003) wurden dagegen berücksichtigt: Sowohl der Geruchsschwellentest vor Teilnahme am Experiment als auch die Lern- und Kontrolltests unter Geruchsexposition fanden zur gleichen Tageszeit statt.

Mit Hilfe des olfaktorischen Detektionstests konnte sichergestellt werden, dass die Versuchspersonen den Duft während der gesamten Lernphase wahrnahmen und er damit auf jeden Fall mit den Lerninhalten assoziiert wurde. Herz hatte 1997 gezeigt, dass Gerüche nur dann als Schlüsselreize dienen können, wenn sie während der Lernphase bewusst wahrgenommen werden. Dies könnte möglicherweise auch eine Rolle für die nächtliche Konsolidierung spielen und konnte durch die wiederholte Konzentration auf den Geruch während dieser Tests gewährleistet werden.

Der Reaktionstest zeigt, dass alle Probanden sowohl während der abendlichen Lernaufgaben als auch morgens beim Abruf des Gelernten konzentriert bei der Sache waren. Es kann also praktisch ausgeschlossen werden, dass die Ergebnisse bei Memory oder Wortlisten durch Konzentrationsunterschiede verfälscht wurden.

Zusätzlich wurde morgens der Regensburger Wortflüssigkeitstest nach Aschenbrenner (Aschenbrenner et al., 2000) durchgeführt, der einerseits die generelle kognitive Leistungsfähigkeit und andererseits die Fähigkeit, bereits gespeichertes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen, widerspiegelt.

Außerdem mussten die Probanden während der abendlichen Lernphase im Memoryspiel mindestens 60 Prozent der Kartenpaare richtig zuordnen. Drosopoulos et al. hatten 2007 gezeigt, dass die Effekte von Schlaf auf die Konsolidierung unter anderem vom Lernniveau zum Zeitpunkt des Zubettgehens abhängig sind. Deshalb war es wichtig, dass alle Probanden vor dem Schlaf eine vergleichbare Lernleistung erreicht hatten.

Der multidimensionale Befindlichkeitsfragebogen (Steyer et al., 1994) sollte sowohl Unterschiede zwischen den Gruppen als auch zwischen den Zeitpunkten aufzeigen. Vor allem ausgeprägtere Müdigkeit könnte schlechtere Lern- oder Abruffleistungen bedingen. In dieser Kategorie zeigten sich jedoch keine Unterschiede. Da die Probanden der Placebogruppe morgens laut Auswertung innerlich ruhiger waren als die der anderen Gruppen, könnten sie mehr Geduld zum Lösen der Aufgaben aufgebracht haben. Trotzdem schnitten sie beim Memory am schlechtesten und bei Erinnerung der Wortlisten nicht signifikant besser als die anderen Gruppen ab.

Bei der Befragung zur Schlafqualität zeigte sich, dass die Probanden der Gruppe mit den inkonsistenten Geruchsbedingungen subjektiv signifikant schlechter geschlafen hatten. Da jedoch in Bezug auf die morgendliche Stimmung und Ausgeruhtheit kein Unterschied festgestellt werden konnte und auch die objektiven Daten keine signifikanten Unterschiede aufzeigen, ist eher unwahrscheinlich, dass dies den Grund für die schlechtere Erinnerungsleistung darstellt. Es bleibt jedoch offen, ob eventuell die nächtliche Präsentation des (unpassenden) Geruchs die schlechtere Schlafqualität bedingt haben könnte. Bis jetzt ist bekannt, dass nächtliche Geruchsexposition (allerdings ohne vorangehende abendliche Geruchspräsentation) die Schlafqualität eher positiv beeinflusst (Goel et al., 2005). Ob die Aufeinanderfolge unterschiedlicher Gerüche -wie sie in dieser Studie präsentiert wurden- eine andere Wirkung auf den Schlaf hat, könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Interessant war in dieser Studie auch der Trend, dass Probanden der inkonsistenten Geruchsgruppe sich weniger an Träume erinnerten und Probanden der konsistenten Versuchsgruppe vermehrt angenehme Träume erlebt hatten. Signifikante Unterschiede konnten jedoch nicht festgestellt werden. Bisher gibt es in Bezug auf Traumbeeinflussung lediglich Studien zu Geruchsexposition während des REM-Schlafs. Sie zeigen, dass Emotionen während des Traums durch angenehme Gerüche positiv und durch unangenehme Gerüche negativ beeinflusst werden können (Schredl et al., 2009). Ob eine Beeinflussung des Traum Inhalts auch bei Geruchspräsentation während des Tiefschlafs möglich ist, obwohl dieser nicht als klassisches Traumstadium gilt, ist bisher nicht untersucht.

Nach Beendigung des Experiments wurden die Versuchspersonen noch um Rückmeldung zu ihrer

Teilnahme gebeten. Dabei fiel auf, dass die Probanden der inkonsistenten Gruppe etwas weniger Gefallen am Experiment gefunden hatten als die der anderen Gruppen. Beim Vergleich der Motivation, mit der die Probanden an die Lösung der Aufgaben herangegangen waren, zeigte sich sogar ein signifikanter Unterschied; die Probanden unter inkonsistenten Versuchsbedingungen waren deutlich weniger motiviert. Da alle Gruppen beim Lernen des Memorys jedoch ähnliche Leistungen gezeigt hatten und dank der Kontrolltests die Konzentration überprüft werden konnte, ist davon auszugehen, dass dies zu keiner Verfälschung der Ergebnisse geführt hat. Bekräftigt wird diese Vermutung durch die Tatsache, dass die Probanden der Placebogruppe zwar die höchste Motivation angaben, beim Zuwachs der Lernleistung jedoch am schlechtesten abschnitten. Subjektiv bewusste Prozesse als Alternativerklärung der Ergebnisse sind sehr unwahrscheinlich, da bei Befragung der Probanden nach ihren Vermutungen über die Geruchsbedingungen nur ein einziger richtig lag. Auch eine Beeinflussung durch den Versuchsleiter kann bei doppelblinden Versuchsbedingungen ausgeschlossen werden.

Es besteht die Möglichkeit, dass einzelne Versuchspersonen beim Lernen durch die Geruchsmaske oder den Geruch abgelenkt waren. Einer der Probanden, dessen Daten nicht in die Auswertung eingingen, weil er beim visuell-räumlichen Gedächtnistest trotz fünf Durchgängen 60 Prozent nicht erreicht hatte, gab beispielsweise an, dass er gegen Ende der Lernphase vom Geruch deutlich genervt war.

Da die nächtliche Geruchsstimulation nur während des Tiefschlafs durchgeführt wurde, war die Stimulationsdauer abhängig von der jeweiligen Schlafarchitektur der Probanden. Versuchspersonen der konsistenten Geruchsgruppe verbrachten mehr Zeit im Tiefschlaf und erhielten in Folge dessen mehr Stimulationen als die Probanden der anderen Gruppen. Allerdings zeigte sich im Einzelvergleich zwischen konsistenter und inkonsistenter Gruppe kein signifikanter Unterschied. Der signifikante Unterschied an Stimulationen zwischen konsistenter und Placebogruppe ist nicht relevant, da in der Placebogruppe nachts kein Geruch präsentiert wurde. Es ist also sehr unwahrscheinlich, dass die Unterschiede in der Gedächtnisleistung durch die geringere Stimulationsanzahl bedingt sind.

In der vorangegangenen Studie von Rasch et al. (2007a) wurde Rosenduft, ein eindeutig positiver Geruch, verwendet. Da die Beeinflussung der Gedächtnisbildung zwischen angenehmen und unangenehmen Geruchsstoffen möglicherweise differieren könnte, entschieden wir uns zur Präsentation eines eher positiven Geruchs (Zitronenduft) sowie eines vermutet leicht negativen Geruchs (IBA, Geruch nach feuchtem Stroh). Tatsächlich bestätigte sich in der Befragung der Probanden, dass diese den Geruch nach Zitrone angenehmer empfunden hatten als den Duftstoff IBA. In Bezug auf Intensität, Erregung und stechenden Eindruck ergaben sich jedoch keine signifikan-

ten Unterschiede. Ein positiver Effekt auf die Gedächtnisbildung scheint sich also sowohl für angenehme als auch für eher unangenehme Gerüche zu bestätigen. Ob auch abstoßende Gerüche noch eine positive Auswirkung auf die Gedächtnisbildung haben können oder ob sie eher den Lernvorgang durch Ablenkung beeinträchtigen, muss weiter untersucht werden. Ebenso wäre sicher eine Erweiterung der Studie auf andere (sowohl angenehme als auch unangenehme) Geruchsstoffe vorteilhaft, da eine Verallgemeinerung der Ergebnisse nach Testung von lediglich zwei spezifischen Duftstoffen sehr gewagt wäre.

Trotz geringer Anzahl an Probanden konnten in dieser Studie zum Teil bereits signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsbedingungen festgestellt werden. Eine Bestätigung der Ergebnisse durch weitere Untersuchungen mit größerer Probandenzahl wäre jedoch sinnvoll.

Kritisiert werden könnte zudem, dass zur exakten Überprüfung der Hypothese ein 9-armiges Studiendesign sinnvoll wäre. Auf die Gruppen mit Placeboexposition während des Lernvorgangs und anschließender nächtlicher Präsentation von Geruchsstoff oder Placebo wurde bewusst verzichtet, da bereits in der Vorstudie Rasch et al. (2007a) gezeigt worden war, dass allein eine nächtliche Geruchspräsentation für eine gesteigerte Gedächtnisbildung nicht ausreicht. Bei relativ geringer Studiengröße fiel zudem die Entscheidung zunächst die Gruppen „Citral-Citral“ und „IBA-IBA“ unter konsistenter sowie die Gruppen „Citral-IBA“ und „IBA-Citral“ unter inkonsistenter Geruchsexposition zusammenzufassen. Zum sicheren Nachweis von signifikanten Unterschieden sollte eine Wiederaufschlüsselung in die einzelnen Gruppen unter Hinzunahme weiterer Probanden noch erfolgen. Anhand der aktuell vorliegenden Daten, die aufgrund der kleinen Gruppengröße statistisch eigentlich nicht verwertbar sind, kann in der getrennten Auswertung nach abendlicher Geruchsexposition mit Citral bzw. IBA kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Rein deskriptiv lässt sich jedoch -zumindest in Bezug auf den visuell-räumlichen Gedächtnistest- in beiden Gruppen ein ähnlicher Effekt vermuten, was wiederum die durchgeführte Art der Gruppenzusammenfassung bekräftigt.

Obwohl viele Studien (z.B. Fowler et al., 1972; Plihal und Born, 1997, 1999; Born et al., 2006) dafür sprechen, dass vor allem der Tiefschlaf eine wichtige Rolle für die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte spielt, ist dies nach wie vor nicht eindeutig bewiesen. Sowohl die erhöhte Spindeldichte in Schlafstadium 2 nach deklarativen Lernaufgaben (Gais et al., 2002) als auch die ebensogute Leistung nach SWS-Unterdrückung (Genzel et al., 2009) sprechen eher dafür, dass das Schlafstadium 2 einen besonderen Stellenwert einnimmt. Dies wurde durch die Geruchspräsentation lediglich während des Tiefschlafs nicht berücksichtigt. Es ist jedoch fraglich, inwieweit sich Schlafstadium 2 und Tiefschlaf in qualitativer Hinsicht wirklich unterscheiden. Sowohl in Bezug auf EEG-Charakteristika als auch in Hinsicht auf Hormonkonzentrationen, Neurotransmit-

terlevel und kardiovaskuläre Aktivität finden sich in diesen Schlafstadien viele Gemeinsamkeiten. REM-Schlaf zeigt im Vergleich zu S2-S4 in Bezug auf diese Aspekte dagegen große Unterschiede (Pace-Schott und Hobson, 2002; Rasch et al., 2007b). Unterschieden werden die Schlafstadien zwei, drei und vier eher nach quantitativen Kriterien, so dass man sich durchaus vorstellen könnte, dass auch die Unterschiede auf die Gedächtniskonsolidierung nicht unbedingt qualitativ sein müssen (Rasch, 2008). In weiteren Studien könnte überprüft werden, ob sich Konsolidierung bzw. Gedächtnisleistung durch zusätzliche oder alternative Geruchspräsentation während S2 noch weiter steigern lassen.

Der Aufbau dieser Studie beruht auf der Annahme, dass die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte nach der Reaktivierungstheorie funktioniert, die auf ersten Überlegungen von Marr (1971) basiert. Dem medialen Temporallappen, bestehend aus Hippokampus und angrenzenden kortikalen Arealen (entorhinaler, perirhinaler und parahippokampaler Kortex), schreibt diese Hypothese unter anderem die Funktion eines Zwischenspeichers zu (McClelland et al., 1995; Alvarez und Squire, 1994). Um Gedächtnisinhalte im Langzeitgedächtnis zu speichern bzw. sie in bereits bestehende Inhalte des Langzeitgedächtnisses zu integrieren, sind demnach zwei Schritte erforderlich: Nach anfänglicher Speicherung folgt die Umorganisation im Rahmen der Reaktivierung (Káli und Dayan, 2004). Hierbei begünstigen erhöhte Acetylcholinpiegel im hippokampalen Kreislauf während des Wachzustands die Enkodierung von Informationen, die minimale cholinerge Aktivität während SWS-Phasen dagegen deren Reaktivierung und Transfer in den Neokortex (Hasselmo, 2006). Während der Reaktivierung kommt es zu hippokampal-kortikalen, kortiko-hippokampalen und kortiko-kortikalen Interaktionen. Die Restrukturierung der Gedächtnisinhalte führt dazu, dass deren Wiedergabe mit der Zeit unabhängig vom Hippokampus wird. Weiter zurückliegende Erinnerungen werden dann vor allem über den präfrontalen Kortex verwaltet (Frankland und Bontempi, 2005). Diese Konsolidierungsvorgänge finden optimalerweise während des Schlafes statt, weil dieselben neuronalen Netzwerke sowohl für die direkte Verarbeitung neuer Informationen als auch für deren spätere Speicherung ins Langzeitgedächtnis verwendet werden. Im „Offline-Modus“ kann es zu einem Dialog zwischen Neokortex und Hippokampus kommen, der zu einem Transfer von neueren Erinnerungen ins Langzeitgedächtnis führt. Hierbei spielen langsame Oszillationen („Slow Oscillations“) während des Tiefschlafs eine wichtige Rolle, indem sie „Sharp Wave Ripples“ des Hippokampus mit thalamokortikaler Spindelaktivität synchronisieren. So können diese gleichzeitig in relevante neokortikale Areale gelangen und dort plastische Veränderungen bewirken (Born et al., 2006). Der Grundgedanke dieser Studie war es, diese Reaktivierungen durch einen bestimmten Geruch als Schlüsselreiz zu provozieren, möglicherweise zu verstärken und damit die Konsolidierung noch weiter zu fördern.

Alternativ zur Reaktivierungstheorie haben auch Tononi und Cirelli (2006) eine Hypothese aufgestellt. Sie sehen die synaptische Homöostase als Grundlage der Gedächtnisbildung. Nach ihrer

Theorie kommt es während des Wachzustands durch Informationsaufnahme zu einer stetigen Verstärkung synaptischer Bindungen und die Lernkapazität wird allmählich gesättigt. Im anschließenden Schlaf nimmt während „Slow Oscillations“ die synaptische Verbindungsstärke wieder ab. Durch dieses sogenannte „Synaptic Downscaling“ wird ein Zustand der Homöostase erreicht, der im nächsten Wachzustand wieder ein effektives Neulernen möglich macht. Zu Beginn der Nacht zeigen sich im EEG hochamplitudige, langsame Oszillationen bedingt durch weitgehende Synchronisation bei starken synaptischen Bindungen; je weiter sich die synaptischen Gewichte dann dem homöostatischen Zustand annähern, desto weniger „Slow Oscillations“ werden registriert. Während des „Downscalings“ werden alle Synapsen eines Neurons in gleicher Proportionalität heruntergefahren. Da sehr schwache Verbindungen anschließend nicht mehr zu einer Reizweiterleitung fähig sind, werden auf diese Weise unwichtige Informationen herausgefiltert und entscheidende Erinnerungen dementsprechend verbessert. Allerdings lassen sich qualitative Veränderungen des Gedächtnisses anhand dieser Hypothese nicht erklären und nächtliche Geruchspräsentation dürfte keinen positiven Einfluss auf die Gedächtnisbildung haben.

Die Ergebnisse des Memorys zeigen in der konsistenten Gruppe morgens eine deutlich verbesserte Gedächtnisleistung im Vergleich zum Vorabend. Im Gegensatz dazu ordneten die beiden anderen Gruppen morgens etwas weniger Kartenpaare richtig zu als noch am Vorabend. Dies bestätigt die Hypothese des Experiments, dass durch Präsentation desselben Geruchs während des Lernens und folgender Tiefschlafphasen die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte gefördert wird. Gleichzeitig ist dies eine Replikation des Befundes von Rasch et al. (2007a), der besagt, dass erneute Geruchspräsentation im Schlaf das Gedächtnis verbessert. Zusätzlich zu deren Ergebnissen erbringt die Studie noch die wichtige Information, dass für eine maximale Gedächtnisverbesserung tatsächlich die Qualität des Geruchs entscheidend ist und eine alleinige Aktivierung des olfaktorischen Kortex durch andere Duftstoffe nicht ausreicht. Ob tatsächlich der Geruch als Schlüsselreiz die Aktivierung hippokampaler Bahnen bedingt, wie Rasch et al. (2007a) dies in ihrer Studie mit Rosenduft gezeigt hatten, und ob diese Aktivierung tatsächlich eine Reaktivierung verbunden mit einer Reorganisation in den Neokortex ist (Gais et al., 2007), wurde in dieser Studie nicht untersucht. Eine folgende Studie, die Aktivierungen des ZNS im fMRT lokalisieren könnte, wäre denkbar. Auf diese Weise könnte zusätzlich untersucht werden, ob eventuell auch die Präsentation eines anderen Dufts (wie in dieser Studie durchgeführt) bestimmte, eventuell ähnliche aber weniger stark ausgeprägte, Aktivierungsmuster hervorruft. Theoretisch wäre dies anhand der Ergebnisse des visuell-räumlichen Gedächtnistests denkbar, weil hier die inkonsistente Gruppe besser als die Placebogruppe abgeschnitten hat. Allerdings ist der Unterschied nicht signifikant und es ist schwer vorstellbar, dass auch ein anderer Geruch als Schlüsselreiz fungieren kann. Allein die nächtliche Geruchspräsentation reicht jedenfalls zur Förderung der Konsolidierung nicht aus, wie Rasch et al. (2007a) bereits gezeigt hatten.

Für eine Reaktivierung durch äußere Einflüsse spricht auch die Studie von Rudoy et al. (2009). Diese zeigten analog zum Einfluss von nächtlicher Geruchsreexposition auch eine Verbesserung der Gedächtnisleistung durch eine wiederholte Präsentation während des Schlafes von zum Lernen assoziierten Lauten.

Vorstellbar wäre allerdings, dass eine Reaktivierung des Gelernten durch äußere Reize nur induziert werden kann, wenn die Lernphase relativ direkt vor dem Zubettgehen liegt. In diesem Fall ist ein enger zeitlicher Zusammenhang zwischen Lern- und erster Tiefschlafphase gegeben. Außerdem kommt es nicht zu (möglicherweise störenden) folgenden Inputs vor dem Schlafen. Ob eine Verbesserung der Gedächtnisleistung auch noch erreicht werden kann, wenn ein größerer Zeitraum oder sogar andere geistige Tätigkeiten zwischen Lern- und Schlafphase liegen, ist unsicher.

Bei Abfrage der Wortlisten zeigten sich weder bei der Wiedergabe richtiger Wörter noch beim Nennen von False Memories signifikante Unterschiede. Zumindest bei der Wiedergabe von richtig erinnerten Begriffen wäre hierbei eine bessere Leistung in der konsistenten Gruppe zu erwarten gewesen, da auch diese Aufgabe (wie das Erinnern von Bildpaaren) das deklarative Gedächtnis betrifft. Der fehlende Unterschied könnte möglicherweise dadurch bedingt sein, dass die Erinnerung an richtige Wörter (anders als beim Memoryspiel) sowohl durch eine episodische als auch durch eine semantische Komponente des deklarativen Gedächtnisses bedingt sein kann. Es wäre also möglich, dass mittels Geruchsreexposition im Tiefschlaf nur die semantische, nicht aber die episodische Gedächtniskonsolidierung gefördert wird und die semantische Komponente in diesem Fall nicht ausreichend war, um einen signifikanten Leistungsunterschied zu erbringen. Passend dazu zeigt auch Tulving (2002) auf, dass das episodische Gedächtnis sich im Laufe der Evolution zwar möglicherweise aus dem semantischen Gedächtnis entwickelt hat, heute jedoch ein völlig eigenständiges, deutlich unterschiedliches, System ist.

In Bezug auf False Memories wäre unter konstanten Geruchsbedingungen sowohl eine gehäufte Entstehung im Sinne einer Problemlösung (Wagner et al., 2004) durch die verbesserte Konsolidierung als auch die Unterdrückung derer im Rahmen einer exakteren Gedächtnisbildung vorstellbar gewesen. Zwischen den Gruppen waren jedoch weder in der aktiven Wiedergabe noch in der passiven Wiedererkennung signifikante Unterschiede festzustellen. Ein Unterschied zwischen den beiden Abfrageformen wäre durchaus denkbar gewesen, schon Tulving und Madigan (1970) sehen einen deutlichen Unterschied zwischen aktivem Abruf aus dem Gedächtnis und lediglich passiver Wiedererkennung. Dies erklärt möglicherweise auch die divergierenden Ergebnisse aus Vorstudien. Es existieren Belege für einen reduzierenden Einfluss von Schlaf auf die Entstehung von False Memories (Fenn et al., 2009), für den fehlenden Effekt von Schlaf (Diekelmann et al., 2008), aber auch für eine gehäufte Wiedergabe von False Memories nach dem Schlafen (Payne et al., 2009; Diekelmann et al., 2010). Erstere gewannen ihre Erkenntnisse durch passives Wie-

dererkennen, letztere ließen ihre Probanden die Begriffe aktiv wiedergeben. Aus diesem Grund wurden in dieser Studie beide Abfrageformen verwendet, jedoch, wie oben bereits beschrieben, ohne signifikante Unterschiede zu finden.

Ein minimaler, wenn auch nicht signifikanter Unterschied zeigt sich bei der passiven Wiedererkennung. Hier erkannten die Probanden unter konstanten Geruchsbedingungen etwas weniger der eigentlich falschen Überbegriffe als richtig. In diesem Zusammenhang wäre beispielsweise auch eine zusätzliche Unterscheidung nach allgemeiner Leistung in „high-“ bzw. „low-performers“ (wie in der Studie von Diekelmann et al., 2010) eine Möglichkeit zur weiteren Beurteilung. Bei ohnehin geringer Probandenzahl wären die Ergebnisse dieser Studie dann jedoch nur noch als Stichproben zu verwerten gewesen. So wie Diekelmann et al. (2010) gezeigt hatten, dass Schlaf bei allgemein eher mäßiger Gedächtnisleistung die Entstehung von False Memories fördert, könnte man sich ebenso eine zusätzliche Verstärkung des Effekts unter Geruchsexposition während Lern- und Tiefschlafphasen vorstellen.

Payne et al. hatten 2009 eine gehäufte Wiedergabe von False Memories nach dem Schlaf gefunden. Erstaunlicherweise fiel in ihrer Studie eine negative Korrelation zwischen exakt wiedergegebenen Begriffen und SWS auf. Sie fanden hierfür zwar keine eindeutige Erklärung, vermuteten aber, dass eine Vereinfachung und Verallgemeinerung gelernter Inhalte während des Schlafes zwar zu Informationsverlust führt, langfristig aber nützlich sein könnte. Bei Weiterführung dieses Gedankenganges würde man in der hier durchgeführten Studie unter konstanten Geruchsbedingungen im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen weniger richtig erinnerte Wörter, dafür aber mehr fehlerhaft wiedergegebene Überbegriffe erwarten, was allerdings nicht der Fall ist. Auch diesbezüglich könnten weitere Studien mit größerer Probandenzahl eventuell andere Erkenntnisse erbringen.

Nicht berücksichtigt wurde, dass einige der Probanden abends vor dem Einschlafen noch einmal über die Anordnung der Bildpaare oder die Wortlisten nachgedacht haben könnten. Eine aktive Wiederholung der Lernaufgaben wäre nach Baddeley (1997) eine Möglichkeit, die betreffenden Informationen über eine 'Reencodierung' länger im Gedächtnis zu behalten. Eine Wiederholung der Aufgaben vor dem eigentlichen Recall am Morgen könnte den Probanden ebenso dazu verholfen haben, die Inhalte dann schneller und möglicherweise exakter abzurufen.

Auch wenn mit Hilfe des hier verwendeten Versuchsablaufs eine eindeutig verbesserte Erinnerungsleistung in Bezug auf deklarative Gedächtnisinhalte durch Präsentation desselben Geruchs während der Lernphase und folgender Tiefschlafphasen gezeigt werden konnte, ist die praktische Anwendbarkeit im täglichen Leben fraglich.

Schwierig ist vor allem, dass wir im Laufe eines Tages sehr viele verschiedene Dinge lernen. Damit tatsächlich durch eine Geruchsexposition während des Schlafes eine spezifische Reaktivierung ausgelöst werden kann, müssten wahrscheinlich viele unterschiedliche Gerüche verwendet werden. Es ist schon schwer durchführbar, während verschiedener Aufgaben bestimmten Gerüchen ausgesetzt zu sein. Dass dann während des Schlafes genau diese Gerüche (möglicherweise aufeinanderfolgend) reproduziert werden, ist im praktischen Leben kaum vorstellbar. Fraglich ist außerdem, ob überhaupt noch eine Verbesserung der Gedächtnisleistung erreichbar ist, wenn verschiedene Gerüche mehrere Lerninhalte innerhalb einer Nacht reaktivieren sollen. Möglicherweise ist zur relevanten Gedächtnisverbesserung jeweils der gesamte Tiefschlaf einer Nacht erforderlich.

Außerdem wurden in dieser Studie die Gerüche nachts EEG-kontrolliert streng auf die Tiefschlafphasen begrenzt dargeboten. Ob auch noch ein Effekt erkennbar ist, wenn der Geruch während des gesamten Nachtschlafes vorhanden ist, bleibt fraglich. Um olfaktorische Habituationsprozesse so gering wie möglich zu halten, führten wir keine Dauerstimulation, sondern einen alternierenden Wechsel zwischen Geruchspräsentation und geruchslosem Luftstrom durch. Auch dies wäre im Alltag sicher schwer umzusetzen. Ist der Geruch aber die ganze Nacht in stetiger Konzentration vorhanden, wird er nach einiger Zeit praktisch nicht mehr wahrgenommen und kann folglich wahrscheinlich auch keine Reaktivierung von Lerninhalten mehr hervorrufen.

Denkbar wäre demnach höchstens die Förderung der Konsolidierung einzelner, zum Beispiel abends vor Prüfungen gelernter, begrenzter Gedächtnisinhalte. Wahrscheinlich müsste die betreffende Person trotzdem die Nacht im Schlaflabor verbringen, damit die entsprechenden Voraussetzungen zur Förderung der Gedächtniskonsolidierung erfüllt werden könnten -wobei insgesamt wieder fraglich ist, ob durch diesen Aufwand und die damit verbundene ungewohnte Schlafumgebung und möglicherweise schlechtere Schlafqualität tatsächlich eine verbesserte Gedächtnisleistung erreicht werden kann.

6. Zusammenfassung

Zahlreiche Studien belegen, dass Schlaf die Gedächtnisbildung fördert. Man geht davon aus, dass eine Reaktivierung zuvor gelernter Gedächtnisinhalte während des Schlafes unter anderem zu einem Transfer dieser Inhalte in neokortikale Areale führt. Der Transfer steht im Zusammenhang mit einer Speicherung ins Langzeitgedächtnis. Es konnte bereits gezeigt werden, dass eine Präsentation von Duftstoffen während Lernvorgang und anschließenden Tiefschlafphasen eine Reaktivierung provoziert und damit die Konsolidierung deklarativer Gedächtnisinhalte fördert. In dieser Studie wurde nun untersucht, ob eine Verbesserung der Gedächtnisleistung nur durch die Präsentation des zum Lernen verwendeten Geruchs erreicht werden kann oder ob bereits eine nächtliche Reizung des Riechzentrums durch einem anderen Geruch ausreicht. Weiterer Untersuchungsgegenstand war der Einfluss von Düften auf die Ausbildung von False Memories. Nach bisherigem Forschungsstand können sowohl Schlaf als auch Schlafmangel deren Entstehung unter bestimmten Umständen fördern.

29 gesunde Versuchspersonen bearbeiteten in einer abendlichen Lernphase unter Geruchsexposition eine das deklarative Gedächtnis betreffende, visuell-räumliche Aufgabe und hörten thematische Wortlisten nach dem DRM-Paradigm. In der folgenden Nacht wurde während Tiefschlafphasen derselbe oder ein anderer Geruch oder eine geruchsfreie Placebosubstanz präsentiert. Verwendet wurden die Gerüche Citral und IBA. Die Abfrage am nächsten Morgen zeigte bei Probanden der konsistenten Geruchsgruppe beim Memory eine deutliche Leistungszunahme im Vergleich zum Vorabend, während die Probanden der anderen Gruppen morgens weniger Kartenpaare richtig zuordneten als noch am Abend zuvor. Dies bestätigt die Hypothese, dass ein während der Lernphase präsentierter und dadurch mit den betreffenden Lerninhalten assoziierter Geruch bei wiederholter Darbietung während folgender Tiefschlafphasen die Gedächtniskonsolidierung fördert, zumindest bezüglich der in dieser Studie verwendeten Gerüche. Im Bereich der False Memories zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen.

Insgesamt bestärken die Erkenntnisse die Reaktivierungstheorie. Die Ergebnisse sprechen vor allem in Zusammenschau mit denen von Rasch et al. (2007a) für eine verbesserte Konsolidierung durch hippocampale Reaktivierung, die mittels spezifischer Geruchspräsentation verstärkt provoziert werden kann.

Literaturverzeichnis

- [Alger u. a. 2010] ALGER, S.E. ; LAU, H. ; FISHBEIN, W.: Delayed Onset of a Daytime Nap Facilitates Retention of Declarative Memory. In: *PloS one* 5 (2010), S. e12131
- [Alvarez und Squire 1994] 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 (1994), S. 7041–7045
- [Ambrosini u. a. 1988] AMBROSINI, M.V. ; SADILE, A.G. ; CARNEVALE, A. G. ; MATTIACCIO, M. ; GIUDITTA, A.: The Sequential Hypothesis on Sleep Function. I. Evidence That the Structure of Sleep Depends on the Nature of the Previous Waking Experience. In: *Physiology and Behavior* 43 (1988), S. 325–337
- [Arzi u. a. 2010] ARZI, A. ; SELA, L. ; GREEN, A. ; GIVATY, G. ; DAGAN, Y. ; SOBEL, N.: The Influence of Odorants on Respiratory Patterns in Sleep. In: *Chemical Senses* 35 (2010), S. 31–40
- [Aschenbrenner u. a. 2000] ASCHENBRENNER, S. ; TUCHA, O. ; LANGE, K.W.: *Regensburger Wortflüssigkeits-Test*. Göttingen : Hogrefe Verlag, 2000
- [Baddeley 1997] BADDELEY, A.: *Human Memory: Theory and Practice*. When Practice Makes Perfect, S.103. Revised Edition. Hove, UK : Psychology Press, Taylor and Francis Group, 1997
- [Badia u. a. 1990] BADIA, P. ; WESENSTEIN, N. ; LAMMERS, W. ; CULPEPPER, J. ; HARSH, J.: Responsiveness to Olfactory Stimuli Presented in Sleep. In: *Physiology and Behavior* 48 (1990), S. 87–90
- [Bartlett 1932] BARTLETT, F.C.: *Remembering: a study in experimental and social psychology*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1932

- [Berger und Phillips 1995] BERGER, R.J. ; PHILLIPS, N.H.: Energy conservation and sleep. In: *Behavioural Brain Research* 69 (1995), S. 65–73
- [Binks u. a. 1999] BINKS, P.G. ; WATERS, W.F. ; HURRY, M.: Short-Term Total Sleep Deprivations Does Not Selectively Impair Higher Cortical Functioning. In: *Sleep* 22 (1999), S. 328–334
- [Boenninghaus und Lenarz 2007] BOENNINGHAUS, H.-G. ; LENARZ, T.: *HNO*. Nase, Nebenhöhlen und Gesicht, S. 121. 13. Auflage. Heidelberg : Springer, 2007
- [Born u. a. 2006] BORN, J. ; RASCH, B. ; GAIS, S.: Sleep to Remember. In: *Neuroscientist* 12 (2006), S. 410–424
- [Brainerd u. a. 2002] BRAINERD, C.J. ; REYNA, V.F. ; FORREST, T.J.: Are Young Children Susceptible to the False-Memory Illusion? In: *Child Development* 73 (2002), S. 1363–1377
- [Brewer 1977] BREWER, W.F.: Memory for the pragmatic implications of sentences. In: *Memory and Cognition* 5 (1977), S. 673–678
- [Cann und Ross 1989] CANN, A. ; ROSS, D.A.: Olfactory stimuli as context cues in human memory. In: *American Journal of Psychology* 102 (1989), S. 91–102
- [Carskadon und Herz 2004] CARSKADON, M.A. ; HERZ, R.S.: Minimal Olfactory Perception During Sleep: Why Odor Alarms Will Not Work for Humans. In: *Sleep* 27 (2004), S. 402–405
- [Chu und Downes 2000] CHU, S. ; DOWNES, J.J.: Long live Proust: the odor-cued autobiographical memory bump. In: *Cognition* 75 (2000), S. B41–B50
- [Chu und Downes 2002] CHU, S. ; DOWNES, J.J.: Proust nose best: Odors are better cues of autobiographical memory. In: *Memory and Cognition* 30 (2002), S. 511–518
- [Danker-Hopfe u. a. 2005] DANKER-HOPFE, H. ; SCHÄFER, M. ; DORN, H. ; ANDERER, P. ; SALETU, B. ; GRUBER, G. ; ZEITLHOFER, J. ; KUNZ, D. ; BARBANOJ, M.-J. ; HIMANEN, S.L. ; KEMP, B. ; PENZEL, T. ; RÖSCHKE, J. ; DORFFNER, G.: Percentile Reference Charts for Selected Sleep Parameters for 20- to 80-Year-Old Healthy Subjects from the SIESTA Database. In: *Somnologie* 9 (2005), S. 3–14

- [Diekelmann und Born 2010] DIEKELMANN, S. ; BORN, J.: The memory function of sleep. In: *Nature Reviews Neuroscience* 1 (2010), S. 114–126
- [Diekelmann u. a. 2010] DIEKELMANN, S. ; BORN, J. ; WAGNER, U.: Sleep enhances false memories depending on general memory performance. In: *Behavioural Brain Research* 208 (2010), S. 425–429
- [Diekelmann u. a. 2008] DIEKELMANN, S. ; LANDOLT, H.-P. ; LAHL, O. ; BORN, J. ; WAGNER, U.: Sleep Loss Produces False Memories. In: *PLoS one* 3 (2008), S. e3512
- [Doty u. a. 1981] DOTY, R.L. ; SNYDER, P.J. ; HUGGINS, G.R. ; LOWRY, L.D.: Endocrine, cardiovascular, and psychological correlated of olfactory sensitivity changes during the human menstrual cycle. In: *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 95 (1981), S. 45–60
- [Drosopoulos u. a. 2007] 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 (2007), S. 169–183
- [Dudai 2004] DUDAI, Y.: The Neurobiology of Consolidations, Or, How Stable is the Engram? In: *Annual Review of Psychology* 55 (2004), S. 51–86
- [Dudai und Eisenberg 2004] DUDAI, Y. ; EISENBERG, M.: Rites of Passage of the Engram: Reconsolidation and the Lingering Consolidation Hypothesis. In: *Neuron* 44 (2004), S. 93–100
- [Ellenbogen u. a. 2006a] ELLENBOGEN, J.M. ; HULBERT, J.C. ; STICKGOLD, R. ; DINGES, D.F. ; THOMPSON-SCHILL, S.L.: Interfering with Theories of Sleep and Memory: Sleep, Declarative Memory, and Associative Interference. In: *Current Biology* 16 (2006), S. 1290–1294
- [Ellenbogen u. a. 2006b] ELLENBOGEN, J.M. ; PAYNE, J.D. ; STICKGOLD, R.: The role of sleep in declarative memory consolidation: passive, permissive, active or none? In: *Current Opinion in Neurobiology* 16 (2006), S. 716–722
- [Fenn u. a. 2009] FENN, K.M. ; GALLO, D.A. ; MARGOLIASH, D. ; ROEDIGER, H.L. ; NUSBAUM, H.C.: Reduced false memory after sleep. In: *Learning and Memory* 16 (2009), S. 509–513
- [Fenn u. a. 2003] FENN, K.M. ; NUSBAUM, H.C. ; MARGOLIASH, D.: Consolidation during sleep of perceptual learning of spoken language. In: *Nature* 425 (2003), S. 614–616

- [Fischer u. a. 2006] FISCHER, S. ; DROSOPOULOS, S. ; TSEN, J. ; BORN, J.: Implicit Learning-Explicit Knowing: A Role for Sleep in Memory System Interaction. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 18 (2006), S. 311–319
- [Fischer u. a. 2002] FISCHER, S. ; HALLSCHMID, M. ; ELSNER, A.L. ; BORN, J.: Sleep forms memory for finger skills. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (2002), S. 11987–11991
- [Fowler u. a. 1972] FOWLER, M.J. ; SULLIVAN, M.J. ; EKSTRAND, B.R.: Sleep and Memory. In: *Science* 179 (1972), S. 302–304
- [Frankland und Bontempi 2005] FRANKLAND, P.W. ; BONTEMPI, B.: The organisation of recent and remote memories. In: *Nature Reviews Neuroscience* 6 (2005), S. 119–130
- [Gais u. a. 2007] GAIS, S. ; ALBOUY, G. ; BOLY, M. ; DANG-VU, T.T. ; DARSAUD, A. ; DESSEILLES, M. ; RAUCHS, G. ; SCHABUS, M. ; STERPENICH, V. ; VANDEWALLE, G. ; MAQUET, P. ; PEIGNEUX, P.: Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104 (2007), S. 18778–18783
- [Gais u. a. 2006] GAIS, S. ; LUCAS, B. ; BORN, J.: Sleep after learning aids memory recall. In: *Learning and Memory* 13 (2006), S. 259–262
- [Gais u. a. 2002] GAIS, S. ; MÖLLE, M. ; HELMS, K. ; BORN, J.: Learning-Dependent Increases in Sleep Spindle Density. In: *Journal of Neuroscience* 22 (2002), S. 6830–6834
- [Genzel u. a. 2009] GENZEL, L. ; DRESLER, M. ; WEHRLE, R. ; GRÖZINGER, M. ; STEIGER, A.: Slow Wave Sleep and REM Sleep Awakenings Do Not Affect Sleep Dependent Memory Consolidation. In: *Sleep* 32 (2009), S. 303–310
- [Gilboa u. a. 2006] GILBOA, A. ; WINOCUR, G. ; ROSENBAUM, R.S. ; POREH, A. ; GAO, F. ; BLACK, S.E. ; WESTMACOTT, R. ; MOSCOVITCH, M.: Hippocampal contributions to recollection in retrograde and anterograde amnesia. In: *Hippocampus* 16 (2006), S. 966–980
- [Giuditta u. a. 1995] GIUDITTA, A. ; AMBROSINI, M.V. ; MONTAGNESE, P. ; MANDILE, P. ; COTUGNO, M. ; ZUCCONI, G.G. ; VESCIA, S.: The sequential hypothesis of the function of sleep. In: *Behavioural Brain Research* 69 (1995), S. 157–166

- [Goel u. a. 2005] GOEL, N. ; KIM, H. ; LAO, R.P.: An olfactory stimulus modifies nighttime sleep in young men and women. In: *Chronobiology International* 22 (2005), S. 889–904
- [Harrison und Horne 2000] HARRISON, Y. ; HORNE, J.A.: Sleep Loss and Temporal Memory. In: *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A* 53 (2000), S. 271–279
- [Hasselmo 2006] HASSELMO, M.E.: The Role of Acetylcholine in Learning and Memory. In: *Current Opinion in Neurobiology* 16 (2006), S. 710–715
- [Herz 1997] HERZ, R.S.: The effects of cue distinctiveness on odor-based context-dependent memory. In: *Memory and Cognition* 25 (1997), S. 375–380
- [Herz 2004] HERZ, R.S.: A Naturalistic Analysis of Autobiographical Memories Triggered by Olfactory Visual and Auditory Stimuli. In: *Chemical Senses* 29 (2004), S. 217–224
- [Herz und Cupchik 1995] HERZ, R.S. ; CUPCHIK, G.C.: The Emotional Distinctiveness of Odor-evoked Memories. In: *Chemical Senses* 20 (1995), S. 517–528
- [Hoffmann und McNaughton 2002] HOFFMANN, K.L. ; MCNAUGHTON, B.L.: Coordinated Reactivation of Distributed Memory Traces in Primate Neocortex. In: *Science* 297 (2002), S. 2070–2073
- [Hummel u. a. 1996] 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 (1996), S. 160–164
- [Kim und Cabeza 2007] KIM, H. ; CABEZA, R.: Differential Contributions of Prefrontal, Medial Temporal, and Sensory-Perceptual Regions to True and False Memory Formation. In: *Cerebral Cortex* 17 (2007), S. 2143–2150
- [Kirk-Smith u. a. 1983] KIRK-SMITH, M.D. ; TOLLER, C. van ; DODD, G.H.: Unconscious odor conditioning in human subjects. In: *Biological Psychology* 17 (1983), S. 221–231
- [Káli und Dayan 2004] KÁLI, S. ; DAYAN, P.: Off-line replay maintains declarative memories in a model of hippocampal-neocortical interactions. In: *Nature Neuroscience* 7 (2004), S. 286–294

- [Krishnan u. a. 1999] KRISHNAN, B. ; DRYER, S.E. ; HARDIN, P.E.: Circadian rhythms in olfactory responses of *Drosophila melanogaster*. In: *Nature* 400 (1999), S. 375–378
- [Lahl u. a. 2008] LAHL, O. ; WISPEL, C. ; WILLIGENS, B. ; PIETROWSKY, R.: An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. In: *Journal of Sleep Research* 17 (2008), S. 3–10
- [Loftus u. a. 1978] LOFTUS, E.F. ; MILLER, D.G. ; BURNS, H.J.: Semantic integration of verbal information into a visual memory. In: *Journal of experimental psychology. Human learning and memory*. 4 (1978), S. 19–31
- [Loftus und Palmer 1974] LOFTUS, E.F. ; PALMER, J.C.: Reconstruction of Automobile Destruction: An Example of the Interaction Between Language and Memory. In: *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 13 (1974), S. 585–589
- [Louie und Wilson 2001] LOUIE, K. ; WILSON, M.A.: Temporally Structured Replay of Awake Hippocampal Ensemble Activity during Rapid Eye Movement Sleep. In: *Neuron* 29 (2001), S. 145–156
- [Maquet u. a. 2000] MAQUET, P. ; LAUREYS, S. ; PEIGNEUX, P. ; FUCHS, S. ; PETIAU, C. ; PHILIPPS, C. ; AERTS, J. ; FIORE, G. D. ; DEGUEDRE, C. ; MEULEMANS, T. ; LUXEN, A. ; FRANCK, G. ; LINDEN, M. V. der ; SMITH, C. ; CLEEREMANS, A.: Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. In: *Nature Neuroscience* 3 (2000), S. 831–836
- [Marr 1971] MARR, D.: Simple Memory: A Theory for Archicortex. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. 262 (1971), S. 23–81
- [Marshall und Born 2007] MARSHALL, L. ; BORN, J.: The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation. In: *Trends in Cognitive Sciences* 11 (2007), S. 442–450
- [McClelland u. a. 1995] 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 (1995), S. 419–457

- [McGaugh 2000] MCGAUGH, J.L.: Memory - a century of consolidation. In: *Science* 287 (2000), S. 248–251
- [Mednick u. a. 2003] MEDNICK, S. ; NAKAYAMA, K. ; STICKGOLD, R.: Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. In: *Nature Neuroscience* 6 (2003), S. 697–698
- [Nader 2003] NADER, K.: Neuroscience: Re-recording human memories. In: *Nature* 425 (2003), S. 571–573
- [Nádasy u. a. 1999] NÁDASY, Z. ; HIRASE, H. ; CZURKÓ, A. ; CSICSVARI, J. ; BZUSÁKI, G.: Replay and Time Compression of Recurring Spike Sequences in the Hippocampus. In: *Journal of Neuroscience* 19 (1999), S. 9497–9507
- [Nordin u. a. 2003] NORDIN, S. ; LÖTSCH, 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 (2003), S. 612–619
- [Pace-Schott und Hobson 2002] PACE-SCHOTT, E.F. ; HOBSON, J.A.: The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks. In: *Nature Reviews Neuroscience* 3 (2002), S. 591–605
- [Pascual-Leone u. a. 1994] PASCUAL-LEONE, A. ; GRAFMAN, J. ; HALLETT, M.: Modulation of Cortical Motor Output Maps During Development of Implicit and Explicit Knowledge. In: *Science* 263 (1994), S. 1287–1289
- [Pavlidis und Winson 1989] 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 (1989), S. 2907–2918
- [Payne u. a. 2009] PAYNE, J.D. ; SCHACTER, D.L. ; PROPPER, R. ; HUANG, L.-W. ; WAMSLEY, E. ; TUCKER, M.A. ; WALKER, M.P. ; STICKGOLD, R.: The Role of Sleep in False Memory Formation. In: *Neurobiology of Learning and Memory* 92 (2009), S. 327–334
- [Peigneux u. a. 2004] PEIGNEUX, P. ; LAUREYS, S. ; FUCHS, S. ; COLLETTE, F. ; PERRIN, F. ; REGGERS, J. ; PHILLIPS, C. ; DEGUELDRE, C. ; FIORE, G. D. ; AERTS, J. ; LUXEN, A. ; MAQUET, P.: Are Spatial Memories Strengthened in the Human Hippocampus during Slow Wave Sleep. In: *Neuron* 44 (2004), S. 535–545

- [Peigneux u. a. 2003] PEIGNEUX, P. ; LAUREYS, S. ; FUCHS, S. ; DESTREBECQZ, A. ; COLLETTE, F. ; DELBEUCK, X. ; PHILLIPS, C. ; AERTS, J. ; FIORE, G. del ; DEGUELDRE, C. ; LUXEN, A. ; CLEERMANS, A. ; MAQUET, P.: Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep. In: *NeuroImage* 20 (2003), S. 125–134
- [Plihal und Born 1997] PLIHAL, W. ; BORN, J.: Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 9 (1997), S. 534–547
- [Plihal und Born 1999] PLIHAL, W. ; BORN, J.: Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. In: *Psychophysiology* 36 (1999), S. 571–582
- [Proust 1913] PROUST, M.: *A la recherche du temps perdu; Du côté de chez Swann*. Rechel-Mertens E., In Swanns Welt: Auf der Suche nach der verlorenen Zeit. 7. Auflage, 1997. Berlin : Suhrkamp Verlag, 1913
- [Rabin und Cain 1984] RABIN, M.D. ; CAIN, W.S.: Odor recognition: familiarity, identifiability, and encoding consistency. In: *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*. 10 (1984), S. 316–325
- [Rasch 2008] RASCH, B.: *Geruchsinduzierte Reaktivierung von Gedächtnisinhalten im menschlichen Schlaf*. Dissertation. Universität Trier, 2008
- [Rasch u. a. 2007a] RASCH, B. ; BÜCHEL, C. ; GAIS, S. ; BORN, J.: Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation. In: *Science* 315 (2007), S. 1426–1429
- [Rasch und Born 2007] RASCH, B. ; BORN, J.: Maintaining memories by reactivation. In: *Current Opinion in Neurobiology* 17 (2007), S. 698–703
- [Rasch u. a. 2007b] RASCH, B. ; DODT, C. ; MÖLLE, M. ; BORN, J.: Sleep-stage-specific regulation of plasma catecholamine concentration. In: *Psychoneuroendocrinology* 32 (2007), S. 884–891
- [Rasch u. a. 2009] RASCH, B. ; POMMER, J. ; DIEKELMANN, S. ; BORN, J.: Pharmacological REM sleep suppression paradoxically improves rather than impairs skill memory. In: *Nature Neuroscience* 12 (2009), S. 396–397

- [Rauchs u. a. 2004] RAUCHS, G. ; BERTRAN, F. ; GUILLERY-GIRARD, B. ; DESGRANGES, B. ; KERROUCHE, N. ; DENISE, P. ; FORET, J. ; EUSTACHE, F.: Consolidation of Strictly Episodic Memories Mainly Requires Rapid Eye Movement Sleep. In: *Sleep* 27 (2004), S. 395–401
- [Rechtschaffen u. a. 1983] RECHTSCHAFFEN, A. ; GILLILAND, M.A. ; BERGMANN, B.M. ; WINTER, J.B.: Physiological Correlates of Prolonged Sleep Deprivation in Rats. In: *Science* 221 (1983), S. 182–184
- [Rechtschaffen und Kales 1968] RECHTSCHAFFEN, A. ; KALES, A.: *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Maryland : National Institutes of Health (U.S.), Publication No. 204, 1968
- [Ribeiro u. a. 2004] RIBEIRO, S. ; GERVASONI, D. ; SOARES, E.S. ; ZHOU, Y. ; PANTOJA, J. ; LAVINE, M. ; NICOLELIS, M.A.: Long-Lasting Novelty-Induced Neuronal Reverberation during Slow-Wave Sleep in Multiple Forebrain Areas. In: *PLoS Biology* 2 (2004), S. 126–137
- [Robertson und Cohen 2006] ROBERTSON, E.M. ; COHEN, D.A.: Understanding Consolidation through the Architecture of Memories. In: *Neuroscientist* 12 (2006), S. 261–271
- [Robertson u. a. 2004a] ROBERTSON, E.M. ; PASCUAL-LEONE, A. ; MIALL, R.C.: Current concepts in procedural consolidation. In: *Nature Reviews Neuroscience* 5 (2004), S. 576–582
- [Robertson u. a. 2004b] ROBERTSON, E.M. ; PASCUAL-LEONE, A. ; PRESS, D.Z.: Awareness Modifies the Skill-Learning Benefits of Sleep. In: *Current Biology* 14 (2004), S. 208–212
- [Roediger und McDermott 1995] ROEDIGER, H.L. ; MCDERMOTT, K.B.: Creating False Memories: Remembering Words Not Presented in Lists. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 21 (1995), S. 803–814
- [Roediger u. a. 2001] ROEDIGER, H.L. ; WATSON, J.M. ; MCDERMOTT, K.B. ; GALLO, D.A.: Factors that determine false recall: A multiple regression analysis. In: *Psychonomic Bulletin and Review* 8 (2001), S. 385–407
- [Rudoy u. a. 2009] RUDOY, J.D. ; VOSS, J.L. ; WESTERBERG, C.E. ; PALLER, K.A.: Strengthening Individual Memories by Reactivating Them During Sleep. In: *Science* 326 (2009), S. 1079

- [Schab 1990] SCHAB, F.R.: Odors and the Remembrance of Things Past. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 16 (1990), S. 648–655
- [Schab 1991] SCHAB, F.R.: Odor memory: taking stock. In: *Psychological Bulletin* 109 (1991), S. 242–251
- [Schacter 1999] SCHACTER, D.L.: The seven sins of memory. Insights from psychology and cognitive neuroscience. In: *The American psychologist* 54 (1999), S. 182–203
- [Schacter u. a. 1997] SCHACTER, D.L. ; BUCKNER, R.L. ; KOUTSTAAL, W. ; DALE, A.M. ; ROSEN, B.R.: Late Onset of Anterior Prefrontal Activity during True and False Recognition: An Event-Related fMRI Study. In: *Neuroimage* 6 (1997), S. 259–269
- [Schacter u. a. 1996] SCHACTER, D.L. ; REIMAN, E. ; CURRAN, T. ; YUN, L. S. ; BANDY, D. ; MCDERMOTT, K.B. ; ROEDIGER, H.L.: Neuroanatomical Correlates of Veridical and Illusory Recognition Memory: Evidence from Positron Emission Tomography. In: *Neuron* 17 (1996), S. 267–274
- [Schacter und Slotnick 2004] SCHACTER, D.L. ; SLOTNICK, S.D.: The Cognitive Neuroscience of Memory Distorsion. In: *Neuron* 44 (2004), S. 149–160
- [Schendan u. a. 2003] SCHENDAN, H.E. ; SEARL, M.M. ; MELROSE, R.J. ; STERN, C.E.: An fMRI Study of the Role of Medial Temporal Lobe in Implicit and Explicit Sequence Learning. In: *Neuron* 37 (2003), S. 1013–1025
- [Schmidt u. a. 2006] SCHMIDT, C. ; PEIGNEUX, P. ; MUTO, V. ; SCHENKEL, M. ; KNOBLAUCH, V. ; MÜNCH, M. ; QUERVAIN, D. de ; WIRZ-JUSTICE, A. ; CAJOCHEN, C.: Encoding Difficulty Promotes Postlearning Changes in Sleep Spindle Activity during Napping. In: *Journal of Neuroscience* 36 (2006), S. 8976–8982
- [Schredl u. a. 2009] SCHREDL, M. ; ATANASOVA, D. ; HÖRMANN, K. ; MAURER, J.T. ; HUMMEL, T. ; STUCK, B.A.: Information processing during sleep: the effect of olfactory stimuli on dream content and dream emotions. In: *Journal of Sleep Research* 18 (2009), S. 285–290
- [Seamon u. a. 2002] SEAMON, J.G. ; LUO, C.R. ; KOPECKY, J.J. ; PRICE, C.A. ; ROTHSCHILD, L. ; FUNG, N.S. ; SCHWARTZ, M.A.: Are false memories more difficult to forget than accurate

- memories? The effect of retention interval on recall and recognition. In: *Memory and Cognition* 30 (2002), S. 1054–1064
- [Siegel 2005] SIEGEL, J.M.: Clues to the functions of mammalian sleep. In: *Nature* 437 (2005), S. 1264–1271
- [Skaggs und McNaughton 1996] SKAGGS, W.E. ; MCNAUGHTON, B.L.: Replay of Neuronal Firing Sequences in Rat Hippocampus During Sleep Following Spatial Experience. In: *Science* 271 (1996), S. 1870–1873
- [Smith u. a. 1992] SMITH, D.G. ; STANDING, L. ; MAN, A. de: Verbal memory elicited by ambient odor. In: *Perceptual and Motor Skills* 74 (1992), S. 339–343
- [Squire 1992] SQUIRE, L.R.: Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. In: *Psychological Review* 99 (1992), S. 195–231
- [Squire und Zola 1996] SQUIRE, L.R. ; ZOLA, S.M.: Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 93 (1996), S. 13515–13522
- [Steyer u. a. 1994] STEYER, R. ; SCHWENKMEZGER, P. ; NOTZ, P. ; EID, M.: Theoretical analysis of a multidimensional mood questionnaire. In: *Diagnostica* 40 (1994), S. 320–328
- [Stickgold 2005] STICKGOLD, R.: Sleep-dependent memory consolidation. In: *Nature* 437 (2005), S. 1272–1278
- [Stuck u. a. 2007] STUCK, B.A. ; STIEBER, K. ; FREY, S. ; FREIBURG, C. ; HÖRMANN, K. ; MAURER, J.T. ; HUMMEL, T.: Arousal Responses to Olfactory or Trigeminal Stimulation During Sleep. In: *Sleep* 30 (2007), S. 506–510
- [Stuck u. a. 2006] STUCK, B.A. ; WEITZ, H. ; HÖRMANN, K. ; MAURER, J.T. ; HUMMEL, T.: Chemosensory event-related potentials during sleep - a pilot study. In: *Neuroscience Letters* 406 (2006), S. 222–226
- [Sulin und Dooling 1974] SULIN, R.A. ; DOOLING, D.J.: Intrusion of a thematic idea in retention of prose. In: *Journal of Experimental Psychology* 103 (1974), S. 255–262

- [Takashima u. a. 2006] TAKASHIMA, A. ; PETERSSON, K.M. ; RUTTERS, F. ; TENDOLKAR, I. ; JENSEN, O. ; ZWARTS, M.J. ; MCNAUGHTON, B.L. ; FERNANDEZ, G.: Declarative memory consolidation in humans: A prospective functional magnetic resonance imaging study. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103 (2006), S. 756–761
- [Talamini u. a. 2008] TALAMINI, L.M. ; NIEUWENHUIS, I.L. ; TAKASHIMA, A. ; JENSEN, O.: Sleep directly following learning benefits consolidation of spatial associative memory. In: *Learning and Memory* 15 (2008), S. 233–237
- [Thews u. a. 1999] 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 und Cirelli 2006] TONONI, G. ; CIRELLI, C.: Sleep function and synaptic homeostasis. In: *Sleep Medicine Reviews* 10 (2006), S. 49–62
- [Trepel 2004] TREPEL, M.: *Neuroanatomie: Struktur und Funktion*. Großhirn (Telencephalon) und funktionelle Bahnsysteme, S. 187. 3. Auflage. München : Urban und Fischer, 2004
- [Trotter u. a. 1988] TROTTER, K. ; DALLAS, K. ; VERDONE, P.: Olfactory stimuli and their effects on REM dreams. In: *Psychiatric Journal of the University of Ottawa* 13 (1988), S. 94–96
- [Tucker u. a. 2010] TUCKER, A.M. ; WHITNEY, P. ; BELENKY, G. ; HINSON, J.M. ; DONGEN, H.P.A. V.: Effects of Sleep Deprivation on Dissociated Components of Executive Functioning. In: *Sleep* 33 (2010), S. 47–57
- [Tulving 2002] TULVING, E.: Episodic Memory: From Mind to Brain. In: *Annual Review of Psychology* 53 (2002), S. 1–25
- [Tulving und Madigan 1970] TULVING, E. ; MADIGAN, S.A.: Memory and Verbal Learning. In: *Annual Review of Psychology* 21 (1970), S. 437–484
- [Underwood 1965] UNDERWOOD, B.J.: False recognition produced by implicit verbal responses. In: *Journal of Experimental Psychology* 70 (1965), S. 122–129

- [Wagner u. a. 2004] WAGNER, U. ; GAIS, S. ; HAIDER, H. ; VERLEGER, R. ; BORN, J.: Sleep inspires insight. In: *Nature* 427 (2004), S. 352–355
- [Walker 2005] WALKER, M.P.: A refined model of sleep and the time course of memory formation. In: *Behavioral and Brain Sciences* 28 (2005), S. 51–64
- [Walker u. a. 2003] WALKER, M.P. ; BRAKEFIELD, T. ; HOBSON, J.A. ; STICKGOLD, R.: Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. In: *Nature* 425 (2003), S. 616–620
- [Walker und Stickgold 2006] WALKER, M.P. ; STICKGOLD, R.: Sleep, Memory, and Plasticity. In: *Annual Review of Psychology* 57 (2006), S. 139–166
- [Wikipedia] WIKIPEDIA: Isobutyraldehyde. In: *en.wikipedia.org/wiki/Isobutyraldehyde (Tag des Zugriffs: 15.04.2012)*
- [Willander und Larsson 2006] WILLANDER, J. ; LARSSON, M.: Smell your way back to childhood: Autobiographical odor memory. In: *Psychonomic Bulletin and Review* 13 (2006), S. 240–244
- [Willander und Larsson 2007] WILLANDER, J. ; LARSSON, M.: Olfaction and emotion: The case of autobiographical memory. In: *Memory and Cognition* 35 (2007), S. 1659–1663
- [Willingham und Goedert-Eschmann 1999] WILLINGHAM, D.B. ; GOEDERT-ESCHMANN, K.: The Relation Between Implicit and Explicit Learning: Evidence for Parallel Development. In: *Psychological Science* 10 (1999), S. 531–534
- [Wilson und McNaughton 1994] WILSON, M.A. ; MCNAUGHTON, B.L.: Reactivation of Hippocampal Ensemble Memories During Sleep. In: *Science* 265 (1994), S. 676–679
- [Winocur u. a. 2010] WINOCUR, G. ; MOSCOVITCH, M. ; BONTEMPI, B.: Memory formation and long-term retention in humans and animals: Convergence towards a transformation account of hippocampal-neocortical interactions. In: *Neuropsychologia* 48 (2010), S. 2339–2356
- [Zelano und Sobel 2005] ZELANO, C. ; SOBEL, N.: Humans as an Animal Model for Systems-Level Organization of Olfaction. In: *Neuron* 48 (2005), S. 431–454

- [Zola-Morgan u. a. 1986] ZOLA-MORGAN, S. ; SQUIRE, L.R. ; AMARAL, D.G.: Human Amnesia and the Medial Temporal Region: Enduring Memory Impairment Following a Bilateral Lesion Limited to Field CA1 of the Hippocampus. In: *Journal of Neuroscience* 6 (1986), S. 2950–2967
- [Zola-Morgan u. a. 1991] ZOLA-MORGAN, S. ; SQUIRE, L.R. ; CLOWER, R.P.: Independence of Memory Functions and Emotional Behavior: Separate Contributions of the Hippocampal Formation and the Amygdala. In: *Hippocampus* 1 (1991), S. 207–220

A. Anhang

A.1. Aufklärungsbogen für Probanden



Universität zu Lübeck

Institut für Neuroendokrinologie

”Geruch im Schlaf”

1. Allgemeine Informationen über den Versuch

Ziel dieser Studie ist es den Einfluss von Gerüchen auf die Schlafqualität sowie auf allgemeine kognitive Fähigkeiten zu untersuchen. Der Versuch beginnt abends mit dem Anlegen von zwölf Elektroden für die Überwachung des Schlafverlaufs während der Nacht. Es folgen verschiedene allgemeine Tests, in denen es z.B. um das Erlernen von Bilderpaaren geht. Während dieser Tests wird jeweils einer von drei verschiedenen Gerüche über eine Maske präsentiert, die über der Nase angebracht ist. Diese Maske bleibt auch während des Schlafs auf der Nase. Morgens nach dem

Schlafen wird die subjektive Schlafqualität anhand eines Fragebogens erfasst und die allgemeinen Tests vom Abend wiederholt.

Der Versuchsteilnehmer kommt für eine Untersuchungsnacht in das Labor. Es gibt Versuchsteilnehmer, die nachts den gleichen Geruch präsentiert bekommen wie abends in der Lernphase; Versuchsteilnehmer, die nachts einen anderen Geruch präsentiert bekommen und Versuchsteilnehmer, die nachts gar keinen Geruch mehr präsentiert bekommen. Der Versuch ist doppelblind, das heißt weder der Teilnehmer noch der Untersuchungsleiter wissen, ob bzw. welcher Geruch während der Nacht präsentiert wird. Vor der Untersuchungsnacht soll der Teilnehmer eine Gewöhnungsnacht im Schlaflabor verbringen, in der nur die Elektroden und die Nasenmaske angelegt werden, aber keine Tests oder Geruchspräsentationen stattfinden.

2. Hinweise für den Versuchsteilnehmer

In der Nacht vor dem Versuch sollten Sie normal schlafen. Außerdem dürfen Sie in den acht Wochen vor dem Experiment keine Schichtarbeit oder Nachtwachen gehabt haben. Am Tag des Versuches sollen Sie um 7 Uhr aufstehen. Nehmen Sie bitte keine alkoholischen oder koffeinhaltigen Getränke (Kaffee, Tee, Cola, ...) ab Mittag vor einer Untersuchungsnacht zu sich. An diesem Experiment können nur Nichtraucher teilnehmen. Für die Studie ist es wichtig, dass Sie am Untersuchungstag keine Erkältung haben. Alle von Ihnen erhobenen Daten werden nur in anonymisierter Form weiter verwendet.

3. Mögliche Nebenwirkungen

Die verwendeten Gerüche sind Gerüche, die bereits in verschiedenen Untersuchungen bei Menschen verwendet wurden. Die geruchsaktiven Substanzen werden in Verdünnungen verwendet, bei denen das Auftreten von unerwünschten Nebenwirkungen sehr unwahrscheinlich ist. In Einzelfällen kann es zu Reizungen der Atemwege oder Kopfschmerzen kommen. Im Falle einer Schädigung haftet das Universitätsklinikum Schleswig Holstein nach den allgemeinen gesetzlichen Haftungsgrundsätzen.

Einverständniserklärung

Ich nehme freiwillig an einer Studie teil, welche den Einfluss von Gerüchen auf die Schlafqualität sowie auf allgemeine kognitive Fähigkeiten untersucht, wobei ich mir aber vorbehalte, meine Mitwirkung jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden zu können und für die Teilnahme anteilmäßig bezahlt werde.

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 leide nicht an Erkrankungen der Atemwege (insbesondere Asthma), habe keinen Heuschnupfen sowie keine starken Allergien gegen Gräser, Pollen, Hausstaub o.ä. und leide nicht an psychiatrischen oder neurologischen, endokrinologischen und gastrointestinalen Erkrankungen. Ich nehme derzeit keine Medikamente. Ich werde acht Wochen vor und während der Studie keine Nachtwachen oder Schichtdienste haben.

Für die Teilnahme an der Studie erhalte ich ein Honorar von insgesamt 80 Euro.

Lübeck, den

.....

.

(Unterschrift)

A.2. Versuchspersonenbogen

.

Persönliche Angaben:

Geburtstag am: ____ . ____ . ____ Dominante Hand: links rechts

Körpergewicht: ____ kg Größe: ____ cm

Brillenträger: nein ja, und zwar kurzsichtig / weitsichtig

Beruf: Student der Fachrichtung _____

sonstiges: _____

Schlafgewohnheiten:

Übliche Schlafenszeit: ____ : ____ Uhr Übliche Aufstehzeit: ____ : ____ Uhr

Einschätzung als: Morgentyp Abendtyp

Schlafen Sie tagsüber? nein ja, _____

Bekannte Schlafstörungen: nein ja, _____

Nachtdienst / Schichtdienst: nein ja, am _____

Bisherige Teilnahme an Experimenten:

Protokoll Untersuchungsnacht 1 (Version A B)

Datum ____:____:____ Beginn: ____:____ Uhr Ende: ____:____ Uhr

Wann bist Du heute aufgestanden? ____:____ Uhr

Hast Du tagsüber geschlafen? _____ Stunden

Hast Du heute nach 14 Uhr Kaffee o.ä. getrunken? O nein O ja, wann? __:__ Uhr

Warst Du in der letzten Woche erkältet? _____

Riechtest bestanden O ja O nein Datum vom 1.Tag der letzten Monatsblutung: ____:____:____

Schlafen gegangen um ____:____ Uhr Eingeschlafen nach ca. _____ min

Aufgestanden um ____:____ Uhr

Besondere Vorkommnisse:

A.3. Wortlisten ('False Memories')

Version A

Mann	Berg	Spinne	Fenster	Mädchen	Löwe	süß
Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6	Liste 7
Frau	Hügel	Netz	Tür	Junge	Tiger	sauer
Gatte	Tal	Insekt	Glas	Puppe	Zirkus	Praline
Herr	klettern	behaart	Scheibe	weiblich	Dschungel	Zucker
Dame	Gipfel	Schreck	Vorhang	jung	Dompteur	bitter
Maus	Kuppe	Fliege	Sims	Kleidchen	Höhle	naschen
maskulin	Alpen	Schlange	Jalousie	hübsch	König	Geschmack
Vater	Felsen	krabbeln	Haus	Haar	Afrika	salzig
stark	Flachland	Tarantel	offen	Nichte	Mähne	niedlich
Freund	Gletscher	Gift	Gardine	tanzen	Käfig	Honig
Bart	Gemse	Biss	Rahmen	schön	Raubkatze	Limonade
Person	Hang	gruselig	Aussicht	putzig	Gebrüll	Schokolade
stattlich	abseilen	Tier	Zugluft	Verabredung	wild	Herz

Version B

Hemd	Stuhl	langsam	schwarz	Dieb	Obst	Fluss
Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6	Liste 7
Bluse	Tisch	schnell	weiß	stehlen	Apfel	Wasser
Ärmel	sitzen	träge	dunkel	Räuber	Gemüse	Strom
Hose	Bein	schleichen	Katze	Gauner	Orange	See
Krawatte	Platz	kriechen	verkohlt	Einbrecher	Kiwi	Donau
Knopf	Couch	Schnecke	Nacht	Geld	Zitrone	Schiff
Shorts	Schreibtisch	vorsichtig	Beerdigung	Polizist	reif	Strömung
bügeln	Sessel	Verspätung	Farbe	böse	Baum	schwimmen
Poloshirt	Sofa	Stau	Trauer	ausrauben	Banane	Ufer
Kragen	Holz	Schildkröte	blau	Gefängnis	Erdbeere	münden
Weste	Lehne	zögernd	Tod	Handtasche	Kirsche	Boot
Tasche	drehen	Geschwindigkeit	Tinte	Ganove	Korb	Bach
Strickjacke	Hocker	rasch	Schatten	Verbrechen	Saft	Bucht

A.4. Befindlichkeitsfragebogen

MDBF-Kurzform A

Datum und Uhrzeit: _____

Im Moment fühle ich mich	überhaupt nicht					sehr
	1	2	3	4	5	
1. zufrieden	<input type="radio"/>					
2. ausgeruht	<input type="radio"/>					
3. ruhelos	<input type="radio"/>					
4. schlecht	<input type="radio"/>					
5. schlapp	<input type="radio"/>					
6. gelassen	<input type="radio"/>					
7. müde	<input type="radio"/>					
8. gut	<input type="radio"/>					
9. unruhig	<input type="radio"/>					
10. munter	<input type="radio"/>					
11. unwohl	<input type="radio"/>					
12. entspannt	<input type="radio"/>					
	überhaupt nicht					sehr

A.5. Fragebogen über die Schlafqualität

Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R)

Probandennr. _____ Geschlecht: _____ Alter: _____
 Datum: __. __. _____ Uhrzeit: ____: ____
 Licht aus: ____: ____ Uhr Licht an: ____: ____ Uhr

Anleitung:

Die folgenden Fragen beziehen sich darauf, wie Sie in der letzten Nacht geschlafen haben. Kreuzen Sie bitte die richtigen Antworten an, die für Sie am ehesten zutreffen. Gehen Sie bei der Beantwortung der Fragen zügig voran und lassen Sie keine Frage aus. Bitte sofort nach dem Aufwachen morgens ausfüllen!

1.) Konnten Sie, nachdem Sie sich schlafen gelegt hatten, gleich einschlafen?

Ja.	
Nein, erst nach 10 min.	
Nein, erst nach 20 min.	
Nein, erst nach 40 min.	
Nein, erst nach 1 Stunde.	
Nein, erst nach mehr als 1 Stunde.	
Ich konnte überhaupt nicht schlafen.	

1.a) Falls ja, welches waren die Gründe? (Mehrfachnennungen möglich)

Persönliche / berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	
Beschäftigung mit Tagesereignissen	
Ungewohnte Schlafumgebung	
Sonstige:	

2.) In der Einschlafphase hat man hin und wieder plötzlich deutliche Bildeindrücke. War dies gestern Abend bei Ihnen so?

Nein	Bin nicht sicher	Ja, sehr deutlich

3.) Hatten Sie während der Einschlafphase Muskelzuckungen in den Armen oder Beinen?

Nein	Leicht	Stark

Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R)

4.) Sind Sie gestern nach dem Einschlafen nachts wieder aufgewacht?

Nein	1x	2x	3x	>3x

4.a) Falls ja, welches waren die Gründe? (Mehrfachnennungen möglich)

Persönliche / berufliche Probleme	
Geräusche im Zimmer oder von draußen	
Ich musste zur Toilette	
Ich hatte schlecht geträumt	
Sonstige:	

4.b) Falls ja, wie lange waren Sie ungefähr wach? (Schätzen Sie bitte.)

1. Aufwachen	Dauer (min):	
2. Aufwachen	Dauer (min):	
3. Aufwachen	Dauer (min):	
4. Aufwachen	Dauer (min):	

5.) Können Sie sich erinnern, ob Sie heute Nacht geträumt haben?

Nein, ich kann mich nicht erinnern geträumt zu haben	
Ja, ich habe geträumt, kann mich aber nicht mehr an den Trauminhalt erinnern.	
Ja, ich habe geträumt und kann mich an den Trauminhalt erinnern	

5.a) Falls ja, welche Gefühle hatten Sie während des Traums (Mehrfachnennungen mögl.)

Angenehm	Neutral	Unangenehm

6.) Haben Sie in der letzten Nacht geschwitzt?

Nein	Leicht	Stark

7.) Haben Sie heute Morgen Kopfschmerzen?

Nein	Leicht	Stark

8.) War der gestrige Tag für Sie anstrengend?

Nein	Ein wenig	Sehr

Fragebogen zur Schlafqualität (SF-A-R)

Anleitung:

Auf dieser Seite finden Sie einige Wörter, mit denen Sie beschreiben können, wie Sie sich gestern Abend fühlten, wie Sie heute Nacht geschlafen haben und wie Sie sich heute Morgen fühlen. Kreuzen Sie hinter jedem Wort an, in welchem Ausmaß es für Sie zutrifft. Bitte beantworten Sie zügig und lassen Sie keine Zeile aus!

9.) Wie haben Sie letzte Nacht geschlafen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) gleichmäßig					
b) tief					
c) gut					
d) entspannt					
e) ungestört					
f) ruhig					
g) ausgiebig					

10.) Wie fühlten Sie sich gestern vor dem Schlafengehen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) sorglos					
b) erschöpft					
c) schlafbedürftig					
d) überfordert					
e) ausgeglichen					
f) ruhig					
g) müde					
f) entspannt					

11.) Wie fühlen Sie sich heute Morgen?

	Sehr	Ziemlich	Mittel	Wenig	Nicht
a) ausgeglichen					
b) dösig					
c) tatkräftig					
d) munter					
e) frisch					
f) ausgeschlafen					
g) entspannt					

A.6. Schlafstadien nach Rechtschaffen und Kales (1968)

Mit Hilfe der Elektroencephalographie (EEG) können die Hirnströme des Menschen während des Schlafes abgeleitet werden, zusätzlich verwendet werden das Elektromyogramm (EMG) der Gesichtsmuskulatur und das Elektrookulogramm (EOG) zur Registrierung von Augenbewegungen. All diese Ableitungen zeigen spezifische Merkmale, anhand derer eine Einteilung des Schlafes in verschiedene Stadien erfolgt (siehe auch Kapitel 2.2.1 Schlafstadien). Im Folgenden werden die einzelnen Schlafstadien charakterisiert, in zugehörigen Abbildungen sind jeweils EOG-, EEG- und EMG-Beispiele dargestellt (Spannung/Zeit).

Im **Wachzustand** finden sich im EEG über 50 Prozent α -Aktivität und/oder niedrig-amplitudige Aktivität gemischter Frequenzen. α -Wellen haben eine Amplitude von 50-75 μV bei einer Frequenz von 8 bis 13 Hz. Die Amplitude des EMGs ist relativ hoch, im EOG zeigen sich Augenbewegungen und Blinks. Ein Beispiel zeigt Abbildung A.1.

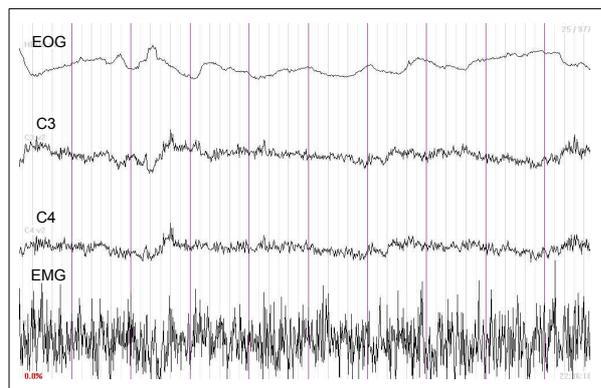


Abbildung A.1.: EEG einer wachen Person

In **Schlafstadium eins (S1)** kommt es zu einer Verlangsamung des EEGs und der α -Anteil sinkt auf unter 50 Prozent. Die Amplitude des EMGs nimmt ab und im EOG sind charakteristische langsame, rollende Augenbewegungen zu sehen, wie auch Abbildung A.2 zeigt.

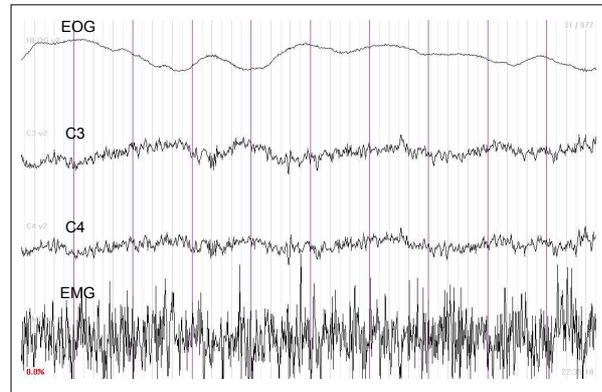


Abbildung A.2.: EEG im Schlafstadium 1 mit rollenden Augenbewegungen (EOG)

Schlafstadium zwei (S2) ist charakterisiert durch K-Komplexe und Schlafspindeln, im EOG sind praktisch keine Augenbewegungen mehr zu registrieren und die Amplitude des EMGs sinkt weiter (siehe Abb. A.3). K-Komplexe sind große Zacken mit einer Amplitude von mindestens $75 \mu\text{V}$, denen oft Spindelaktivität folgt. Beide Phänomene können jedoch auch isoliert beobachtet werden. Spindeln haben eine hohe Frequenz von 12 bis 14 Hz und sind mindestens 0,5 Sekunden lang.

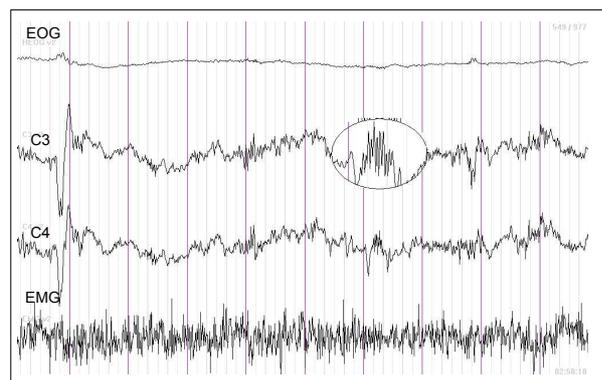


Abbildung A.3.: EEG im Schlafstadium 2 mit K-Komplex und Schlafspindel (C3 und C4)

In den **Schlafstadien drei (S3) und vier (S4)** zeigen sich δ -Wellen im EEG. Ihre Amplitude beträgt mindestens $75 \mu\text{V}$ bei einer niedrigen Frequenz von 0,5 bis 2 Hz. K-Komplexe und Schlafspindeln sind zwar keine klassischen Charakteristika für diese Stadien, können aber ebenfalls vorkommen. Eine δ -Aktivität von 20 bis 50 Prozent ist definiert als S3 (Abb. A.4), beläuft sie sich auf über 50 Prozent handelt es sich um S4 (Abb. A.5).

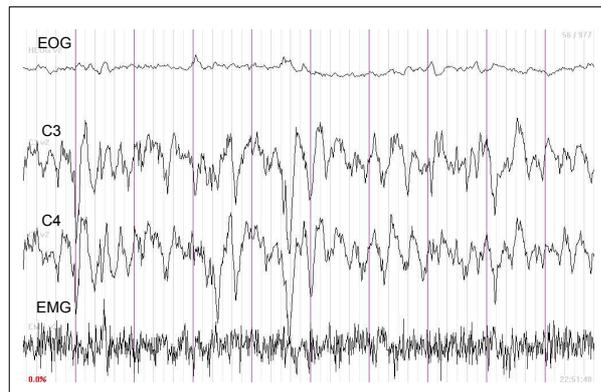


Abbildung A.4.: EEG im Schlafstadium 3 (über 20 Prozent δ -Aktivität in C3 und C4)

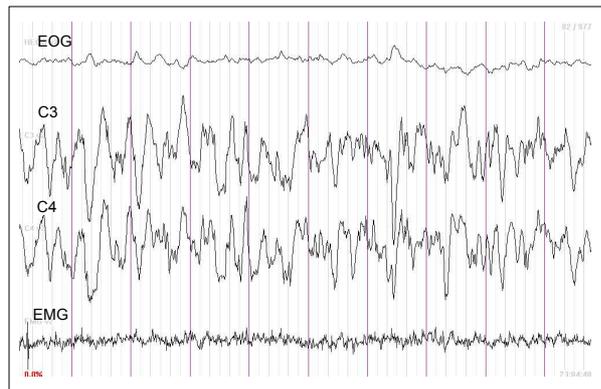


Abbildung A.5.: EEG im Schlafstadium 4 (über 50 Prozent δ -Aktivität in C3 und C4)

Während des **REM-Schlafes** können im EOG die namensgebenden schnellen Augenbewegungen abgeleitet werden. Sie müssen jedoch nicht ständig vorliegen. Auffallend sind auch eine sehr niedrige Amplitude im EMG sowie überwiegend θ -Aktivität im EEG (Frequenz 4 bis 8 Hz). Ein klassisches Beispiel für REM-Schlaf, der auch paradoxer Schlaf genannt wird, zeigt Abbildung A.6.

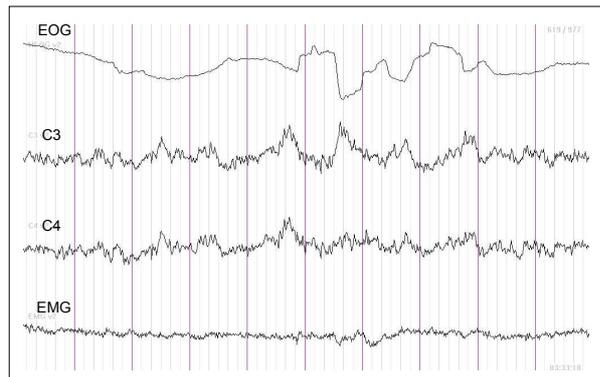


Abbildung A.6.: EEG während des REM-Schlafes mit schnellen, unregelmäßigen Augenbewegungen (EOG), θ -Aktivität (EEG) und niedrigem Muskeltonus (EMG)