

Aus dem interdisziplinären schlafmedizinischen Zentrum der Klinik für
Kardiologie und Angiologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

„Auswirkung von Geräuschen auf den Schlaf in unterschiedlich
schallabgeschirmten Räumen“

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Charlotte Barthe
aus Berlin

Datum der Promotion: 09.09.2016

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|------------|
| INHALTSVERZEICHNIS | I |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | III |
| TABELLENVERZEICHNIS | IV |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | V |
| Abstrakt | VI |
| Abstract | VII |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Geräusche | 1 |
| 1.2 Gesunder Schlaf | 4 |
| 1.3 Lärm und Lärmschutz | 5 |
| 1.4 Lärm als Risikofaktor | 6 |
| 1.5 Schlaf und Geräusche/Lärm | 7 |
| 1.6 Raumakustik | 9 |
| 1.7 Fragestellung | 10 |
| 2. Methoden | 12 |
| 2.1 Studienpopulation, Einschluss- und Ausschlusskriterien | 12 |
| 2.2 Studienablauf | 12 |
| 2.3 Die Untersuchungsorte | 13 |
| 2.3.1 Das Schlaflabor | 13 |
| 2.3.2 Der akustisch isolierte Raum..... | 14 |
| 2.3.3 Häusliche Umgebung..... | 14 |
| 2.4 Messmethoden | 15 |
| 2.4.1 Polysomnographie | 15 |
| 2.4.1.1 Erläuterung der Schlafparameter | 17 |
| 2.4.2 Fragebögen | 18 |
| 2.4.3 Geräuschmessung..... | 20 |
| 2.4.4 Luftfeuchtigkeits- und Temperaturmessung..... | 20 |
| 2.5 Statistische Auswertung | 20 |
| 3. Ergebnisse | 22 |
| 3.1 Probanden und anthropometrische Daten | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 Fragebögen | 23 |
| 3.2.1 PSQI, ISI und ESS | 23 |
| 3.2.2 Fragebogen VIS-M | 23 |
| 3.3 Polysomnographisch gemessene Schlafparameter | 25 |
| 3.3.1 Schlaffeffizienz und prozentuale Verteilung der Schlafphasen | 25 |
| 3.3.2 Latenzen zu den einzelnen Schlafphasen | 28 |
| 3.3.3 Weckreaktionen und Wachzeit nach Schlafbeginn | 32 |
| 3.4 Parameter der drei Untersuchungsorte | 32 |
| 3.4.1 Nächtlicher Schallpegel (LAeq60) | 32 |
| 3.4.2 Nächtliche Temperatur und Luftfeuchtigkeit | 34 |
| 4. Diskussion | 36 |
| 4.1 Diskussion der Methoden | 36 |
| 4.2 Diskussion der Studienbedingungen | 37 |
| 4.3 Diskussion der Ergebnisse einzelner Parameter | 39 |
| 4.3.1 Schlaffeffizienz | 39 |
| 4.3.2 Prozentuale Verteilung der Schlafphasen | 40 |
| 4.3.3 Abnahme des REM-Schlafanteils in schallreduzierter Umgebung | 40 |
| 4.3.4 Erhöhung des prozentualen Tiefschlafanteils in schallreduzierter Umgebung | 42 |
| 4.3.5 Latenzen zu den einzelnen Schlafphasen in schallreduzierter Umgebung | 44 |
| 4.3.6 Weckreaktionen und WASO in schallreduzierter Umgebung | 45 |
| 4.3.7 Temperatur als Einflussgröße auf den Schlaf | 46 |
| 4.3.8 Luftfeuchtigkeit als Einflussgröße auf den Schlaf | 47 |
| 4.3.9 Nächtlicher Schallpegel und Schlaf | 48 |
| 4.4 Zusammenfassende Diskussion | 49 |
| Literaturverzeichnis | 50 |
| Eidesstattliche Versicherung | 56 |
| Lebenslauf | 57 |
| Publikationsliste | 58 |
| Danksagung | 59 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Idealtypisches Schlafzyklogramm ¹³ | 5 |
| Abbildung 2-1: Vergleich der gemessenen Nachhallzeiten in einem Raum des Schlaflabors (Schlafraum) und der Audiometrikabine | 15 |
| Abbildung 3-1: Balkendiagramm zur Darstellung der Mittelwerte und den Standardabweichungen auf einer visuellen Analogskala des Item 1 des Fragebogen VIS-M* (visuell-morgens) nach den Nächten in häuslicher Umgebung, im akustisch isolierten Raum und im Schlaflabor | 24 |
| Abbildung 3-2: Säulendiagramm zur Darstellung der prozentualen Anteile der Schlafphasen an der totalen Schlafzeit (TST – total sleep time) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung | 25 |
| Abbildung 3-3: Säulendiagramm zur Darstellung des prozentualen REM-Schlafanteils an der totalen Schlafzeit (TST) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung | 26 |
| Abbildung 3-4: Säulendiagramm zur Darstellung des prozentualen N3-Schlafanteils an der totalen Schlafzeit (TST) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung | 27 |
| Abbildung 3-5: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N1 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung | 28 |
| Abbildung 3-6: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N2 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung | 29 |
| Abbildung 3-7: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N3 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung | 30 |
| Abbildung 3-8: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur REM-Schlafphase in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung | 31 |
| Abbildung 3-9: Boxplot zur Darstellung der Schallpegel (LAeq 60 in Dezibel) in den Untersuchungsstätten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung. Darstellung des Interquartilabstandes, des Medians und der Minimal -und Maximalwerte (Einbezug der Ausreißer) | 34 |
| Abbildung 3-10: Darstellung der Mittelwerte der nächtlichen Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung | 35 |

TABELLENVERZEICHNIS

- Tabelle 1-1:** Schallpegel gängiger Schallquellen in dB(A) und deren Gefahreinschätzung⁸ _ 2
- Tabelle 1-2:** Akustische und auditive Parameter, Begriffe der auditiven Phonetik⁹ _____ 3
- Tabelle 3-1:** Mittelwerte der anthropometrische Daten der Probanden (Anzahl der Probanden, Körpergewicht, Körpergröße, Alter, BMI)* _____ 22
- Tabelle 3-2:** Auswertung der Fragebögen PSQI, ISI und ESS, Ausschlusskriterium der Studie: Überschreitung des Cut-Off-Wertes* _____ 23
- Tabelle 3-3:** Ergebnisse des T-Tests für verbundene Stichproben zur Feststellung der Signifikanz der unterschiedlichen Ergebnisse des Item 1 des Fragebogen VIS-M nach den Nächten im Schlaflabor, in häuslicher Umgebung und im akustisch isolierten Raum. ____ 24
- Tabelle 3-4:** Post Hoc Vergleich zwischen den prozentualen N3-Schlafanteilen der totalen Schlafzeit (Korrekturverfahren nach Bonferroni) mit Darstellung der Signifikanz der gemessenen Mittelwertsunterschiede im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung _____ 27
- Tabelle 3-5:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Weckreaktionen und der WASO im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung _____ 32

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---------|---|
| dB | Dezibel |
| Hz | Hertz |
| A | Mittelungspegel |
| REM | Rapid-eye-movement |
| W | Zustand „wach“ |
| N1 | Schlafphase 1 |
| N2 | Schlafphase 2 |
| N3 | Schlafphase 3 |
| SWS | Slow-wave-sleep (Tiefschlaf) |
| TIB | time in bed (Bettliegezeit) |
| TST | total sleep time (totale Schlafzeit) |
| ESS | Epworth Sleepiness Scale |
| PSQI | Pittsburgh Sleep Quality Index |
| ISI | Insomnia Severity Index |
| VIS-M | Visuelle Analogskala Morgens |
| LAeq 60 | gleitender, zeitlich gemittelter Schallpegel über 60 Minuten |
| Leq | gemittelter Schallpegel |

Abstrakt

Einleitung

Lärm/Geräusche gelten in der aktuellen Literatur als negativer Einfluss auf die Schlafqualität und eine niedrige Schlafqualität als ein bedeutender negativer Einflussfaktor auf die Gesundheit und Lebensqualität des Menschen. In der vorliegenden Studie soll der Einfluss von drei unterschiedlich schallabgeschirmten Umgebungen auf die Schlafqualität untersucht werden. Ziel ist es herauszufinden, ob ein reduzierter nächtlicher Schallpegel und verminderte Raumhalligkeit dazu beitragen können, die Schlafqualität zu verbessern.

Methodik

In einer klinisch prospektiven Studie wurden 24 schlaf- und hörgesunde Probanden (15 männlich, 9 weiblich, Alter zwischen 18 und 37 Jahren) in jeweils drei aufeinanderfolgenden Nächten an drei unterschiedlichen Untersuchungsorten polysomnographisch überwacht.

a) Häusliche Umgebung des Probanden (40,52 dB, SD = 7,08, hohe Nachhallzeit)

b) Schlaflabor (39,62 dB, SD = 5,38, mittlere Nachhallzeit: $T_m = 0,42s$)

c) Akustikkabine (33,83 dB, SD = 2,78, niedrige Nachhallzeit: $T_m = 0,12s$)

Als Parameter der Schlafqualität wurden Schlafeffizienz, prozentuale Verteilung der Schlafphasen auf die totale Schlafzeit, Latenzen zu den Schlafphasen, Weckreaktionen, Wachzeit nach Schlafbeginn und eine subjektive Einschätzung der Erholbarkeit des Schlafes verwendet.

Ergebnisse

Bei gleichbleibender Schlafeffizienz ist der prozentuale Anteil der Tiefschlafphase (N3) in der Räumlichkeit mit der geringsten Halligkeit und dem niedrigsten Schallpegel (Akustikkabine) erhöht und der prozentuale REM-Schlafanteil erniedrigt (Schlafstätte als Einflussfaktor auf beide Parameter hoch signifikant $p = 0,000$). Bei sonst unveränderten Latenzen zu den einzelnen Schlafphasen war die REM-Latenz in der Akustikkabine signifikant länger ($p = 0,004$), was sich durch die verlängerte Tiefschlafphase erklären lässt. In der Akustikkabine kam es zu weniger nächtlichen Weckreaktionen ($p = 0,027$), während die Unterschiede in der Wachzeit nach Schlafbeginn keine statistische Signifikanz aufwiesen.

Schlussfolgerung

Unter verminderter Raumhalligkeit und reduziertem Umgebungsschallpegel kommt es bei jungen, hör- und schlafgesunden Probanden dieser Studie durch die Verlängerung der Tiefschlafphase und Verminderung nächtlicher Weckreaktionen zur Steigerung zweier der die Schlafqualität definierenden Parameter.

Abstract

Introduction

Noise/sounds count as negative influence on sleep quality in current literature. Low sleep quality is known as a negative influence on health and quality of life. The study at hand investigates the influence of three different levels of noise isolation on sleep quality. Objective of the study was to discover if a reduced level of sound and room reverberance can contribute to an improvement in quality of sleep.

Methods

In a clinical prospective study, 24 healthy patients without sleep disorders (15 male, 9 female, aged between 18 and 37) were monitored by polysomnography for three consecutive nights at three different settings. Long reverberation time = increased reverberation.

- a) the patient's home (40,52 dB, SD \pm 7,08, high reverberation time)
- b) sleeping laboratory (39,62 dB, SD \pm 5,38, medium reverberation time: $T_m = 0,42s$)
- c) audiometry booth (33,83 dB, SD \pm 2,78, low reverberation time: $T_m = 0,12s$)

For the determination of sleep quality the parameters sleep efficiency, percentage of the sleep stages of total sleep time (TST), latency to sleep stages, arousals, waketime after sleep onset and a subjective estimate of the restorative effect of the sleep.

Results

While sleep efficiency stayed unaltered, the percentage of stage 3 of TST (slow-wave-sleep) was prolonged when there was the lowest sound level and lowest reverberation (audiometry booth) $p = 0,00$, whereas REM-percentage of TST was reduced. Latencies did not differ significantly except for REM-latency which was prolonged in the audiometry booth ($p = 0,004$), most likely due to the prolongation of the slow-wave-sleep stage. Number of arousals was significantly reduced in the audiometry booth ($p = 0,027$) whereas waketime after sleep onset did not vary significantly between the three locations.

Conclusion

This study has shown that low environmental sound levels in the bedroom in combination with reduced reverberation can affect two essential parameters defining sleep quality in young, healthy patients without sleep disorders. This is reflected by a prolongation of sleep stage 3 and reduction of arousals recorded in this study.

1. Einleitung

Die Menschheit ist ständig von Geräuschen umgeben. Sie sind ein wichtiger Bestandteil des Lebens. Der Mensch ist nicht nur in der Lage Geräusche zu erzeugen und zu verarbeiten, er benötigt sie auch zur Orientierung, zur Kommunikation und als Warnsignal ¹.

Bereits vor der Geburt ist der Mensch einem ständigen Hintergrundgeräusch durch den mütterlichen Herzschlag, die Atmung, die Stimme und die Bewegungen der Mutter von mindestens 28 dB (Dauerschallpegel) ausgesetzt ².

Die den hörgesunden Menschen ein Leben lang begleitenden Geräusche, können sich auf unterschiedlichste Art auf den Menschen auswirken.

Bestimmte Geräusche können einen Zustand des Wohlbefindens hervorrufen, einen vermindernden Einfluss auf Angst- und Sorgenzustände nehmen oder sogar akute und chronische Schmerzen vermindern ^{3,4}.

Aufgrund zunehmender Belastung der Menschen durch unnatürliche Umweltgeräusche wie zum Beispiel Verkehrs- und Industrielärm, sind aber auch die negativen Effekte von Geräuschen auf den Menschen vielseitig untersucht. Dabei sind lärmbedingte Einschränkung der Lebensqualität und der negative Einfluss auf den Schlaf besonders hervorzuheben. Neben den „offensichtlichen“ nächtlichen Lärmquellen wie Verkehrslärm, konnten auch bei schon viel geringerer Lärmbelastung (Kirchenglocken, durch Nachbarn verursachte Geräusche) negative Effekte auf den Schlaf in Form von Arousal, festgestellt werden ⁵. Dies verleiht demjenigen Zweig der Forschung in der Schlafmedizin, der sich mit nächtlichen Geräuschen und deren Reduktion auseinandersetzt, besondere Relevanz.

1.1 Geräusche

Das menschliche Gehör ist dazu fähig Luftdruckschwankungen in einem Bereich von ca. 16-20000 Hz wahrzunehmen ⁶.

Als Schallintensität wird diejenige Schalleistung bezeichnet, die pro Flächeneinheit durch eine durchschallte Fläche tritt. Die Schallintensität der Hörschwelle liegt bei 10^{-13}W/m^2 . Um die Verwendung von Schallintensitätswerten zu vereinfachen, wurde eine Verhältnisskala von dekadischen Logarithmen eingeführt, deren Maßeinheit das Bel ist. Die Hörschwelle wurde auf 1 (10^0) festgelegt und reicht in 13 Stufen bis zur Schmerzschwellenintensität von 10^{13} . Eine weitere Vereinfachung wurde durch die Angabe des Zehntels eines Bels, dem heute mehr gebräuchlichen Dezibel, geschaffen. Die Erhöhung der Lautstärke um 10 dB entspricht der Verdopplung der wahrgenommenen Lautstärke.

Wird der Schallpegel an einem Ort über einen Zeitraum hinweg gemessen, wird zur Angabe des Schallpegels in nur einer einzigen Zahl, der Mittelungspegel (A) verwendet. Wenn zum Beispiel über den Messzeitraum hinweg ein relativ konstanter, niedriger Schallpegel herrscht, es jedoch durch lautere Ereignisse zwischenzeitlich zur Erfassung höherer Werte kommt, würde die Angabe des arithmetischen Mittels die Dauer und Stärke des lauteren Geräusches untergehen lassen ⁷.

Tabelle 1-1 gibt einen Überblick über den Schallpegel, den verschiedene Geräuschquellen verursachen und dient dazu, später in dieser Arbeit erwähnte Schallpegelwerte ins Verhältnis mit bekannten Geräuschen setzen zu können ⁸.

Tabelle 1-1: Schallpegel gängiger Schallquellen in dB(A) und deren Gefahreinschätzung ⁸

| Schallpegel (dB) | Schallquelle | Gefahr |
|------------------|---|--|
| 0 dB (A) | unvorstellbar leise | vollkommen ungefährlich |
| 10 dB (A) | Blätterrascheln | |
| 20 dB (A) | Ruhe im Radiostudio | |
| 25 dB (A) | Atemgeräusch | |
| 30 dB (A) | Flüstern | |
| 35 dB (A) | Zimmerventilator | |
| 40 dB (A) | Konzentrationsschwelle | ungefährlich, aber Konzentrationsstörungen |
| 45 dB (A) | ruhige Wohnung | |
| 50 dB (A) | leise Radiomusik, Vogelgezwitscher | |
| 55 dB (A) | Radio/TV in Zimmerlautstärke | |
| 60 dB (A) | normales Gespräch, Rasenmäher (10 m Entfernung) | |
| 65 dB (A) | Risikoerhöhung Herz-, Kreislaufkrankungen | meist ungefährlich, aber Risikoerhöhung von Erkrankungen |
| 70 dB (A) | Staubsauger, Haartrockener | |
| 75 dB (A) | PKW | |
| 80 dB (A) | Starker Verkehr, LKW, Bohrerei | |

| | | |
|------------|--|---|
| 85 dB (A) | unangenehm, bei längerer Einwirkung Gehörschaden | gefährlich bei LÄNGERER Einwirkung (über 40 Std/Woche) Hörschaden |
| 90 dB (A) | schweres KFZ, Schweißumformer, Handschleifgerät | |
| 95 dB (A) | Holzfräsmaschine, Musik (Kopfhörer) | |
| 100 dB (A) | Kreissäge, Schleifhexe, Diskothek | |
| 105 dB (A) | Schlagschrauber, Formel 1-Wagen | |
| 110 dB (A) | Druckluftmeißel, Kettensäge, Rockkonzert | |
| 115 dB (A) | Bleche hämmern | |
| 120 dB (A) | unerträglich laut | sehr gefährlich, schon bei KURZER Einwirkung Gehörschaden |
| 130 dB (A) | Niethammer | |
| 140 dB (A) | Flugzeugstart | |
| 150 dB (A) | Schmiedehammer | |
| 160 dB (A) | Geschützknall | |

Tabelle 1-2: Akustische und auditive Parameter, Begriffe der auditiven Phonetik⁹

| Physikalischer Parameter | Auditiver Eindruck |
|--------------------------|--------------------|
| Periodizität | Geräusch vs. Ton |
| Amplitude | Lautstärke |
| (Grund-) Frequenz | Höhe |
| Dauer | Kürze vs. Dehnung |
| Formantenstruktur | Klangfarbe |

Tabelle 1-2 gibt eine Übersicht über die physikalischen Parameter von Geräuschen und den dadurch wahrgenommenen auditiven Eindrücken.

Die Lautstärke wird durch den Schalldruck bestimmt, der in einem logarithmischen Zusammenhang mit der wahrgenommenen Lautstärke steht. Die Frequenz des Geräuschs und damit die wahrgenommenen Tonhöhe, steht bis zu einem Wert von 1000 Hz in linearem Zusammenhang, bei Werten darüber ist der Zusammenhang eher logarithmisch. Ein Formant ist

eine Sammlung von Obertönen ungefähr gleich hoher Intensität. Die auditive Intensität des Schalls steigt mit dem Schalldruck, der Frequenz und der Dauer an, während sie mit der Entfernung von der Schallquelle abnimmt⁹.

1.2 Gesunder Schlaf

Der Mensch verbringt ein Drittel seines Lebens im Schlaf. Er dient der physischen und psychischen Erholung. Ausreichender und vor allem erholsamer Schlaf ist für Leistungsfähigkeit, Gesundheit und Wohlbefinden unabkömmlich. Um gesundheitliche Beeinträchtigungen zu vermeiden, ist es deshalb wichtig, dass eine Balance zwischen den drei Zuständen Wachsein, Schlafzeit (Non-REM-Schlaf) und Traumschlafzeit (REM-Schlaf) gehalten wird¹⁰⁻¹².

Schlafgesunde Menschen durchlaufen jede Nacht mehrfach die verschiedenen Schlafphasen in sogenannten Schlafzyklen, die sich innerhalb der Schlafzeit ebenfalls wiederholen. Vom Zustand „wach“ (W) tritt er zunächst in die erste Schlafphase (N1), die auch als Leichtschlafphase bezeichnet wird, ein. In dieser Phase ist er noch relativ leicht durch moderate Geräusche erweckbar. Es folgt die zweite Schlafphase (N2), die bereits tiefer ist. In dieser ist zwar keine Aufnahme von Informationen mehr möglich, nach polysomnographischer Aufzeichnung kann man im EEG jedoch noch Veränderungen, zum Beispiel als Reaktion auf Nennung des eigenen Namens, erkennen.

Als nächstes folgt die dritte Schlafphase (N3), die Tiefschlafphase. In dieser Phase befindet sich der Körper im Zustand tiefer Entspannung, der Muskeltonus ist niedrig und die Weckschwelle hoch.

Diese drei Schlafphasen zählen zu den Non-REM-Phasen, denen die REM-Phase („Rapid Eye Movement“) folgt. In der REM-Schlafphase kommt es zu raschen Augenbewegungen, der Muskeltonus geht - bis auf gelegentliche Zuckungen - gegen Null und die Reflexe sind erloschen. Man vermutet, dass in der REM-Schlafphase geträumt wird, weshalb sie auch als Traumschlafphase bezeichnet wird.

Die Aufeinanderfolge dieser vier Schlafphasen bezeichnet einen Schlafzyklus, dem unter normalen Umständen unmittelbar der nächste Schlafzyklus folgt.

In Abbildung 1-1¹³ ist die normale Verteilung sowohl der Schlafphasen und Schlafzyklen als auch der Wachphasen über die Nacht in einem sogenannten Schlafzyklogramm dargestellt.

Dieses findet in der Schlafmedizin häufig Verwendung und bietet einen guten Überblick über die individuelle Schlafphasenverteilung nach einer polysomnographischen Überwachung des Schlafes.

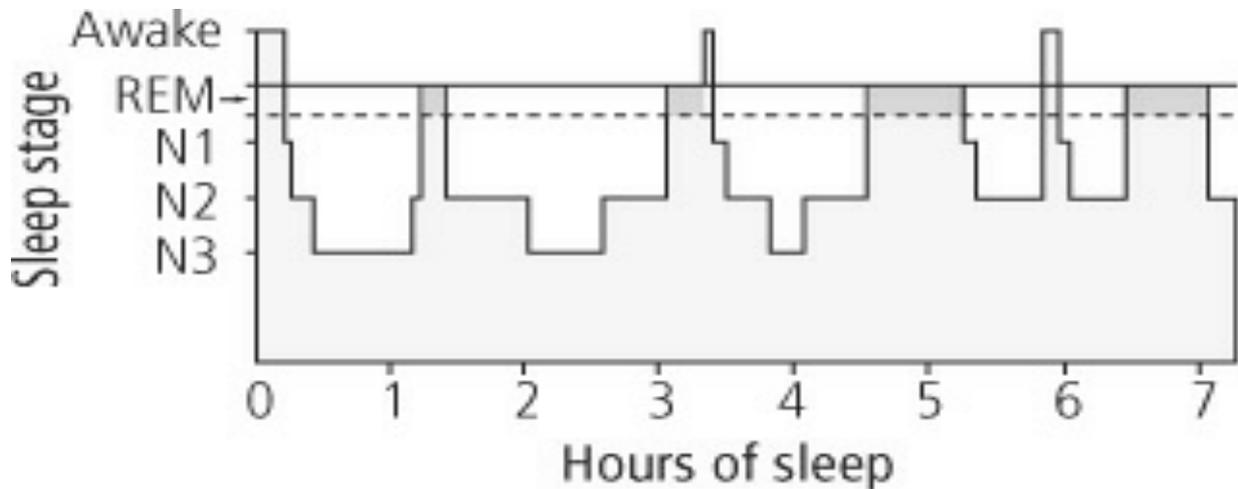


Abbildung 1-1: Idealtypisches Schlafzyklogramm ¹³

Innerhalb einer achtstündigen Nacht durchwandert der schlafgesunde Mensch vier bis fünf Schlafzyklen, in denen sich die prozentuale Zusammensetzung der Schlafphasen über die Schlafzeit hinweg verändert. So verkürzt sich z.B. zum Morgen hin die Tiefschlafphase (N3), während sich die REM-Schlafphase verlängert. Mit zunehmendem Alter ist ebenfalls eine Veränderung der Verteilung der Schlafphasen über die Nacht erkennbar. Mit steigendem Alter nimmt der Tiefschlafanteil des Schlafes ab.

Ein Schlafzyklus dauert für gewöhnlich ca. 90 Minuten, wobei die prozentuale Verteilung der Schlafphasen, bezogen auf die gesamte Nacht, im Regelfall die folgenden prozentualen Werte aufweist:

N1 = 5-10%

N2 = 40-50%

N3 = 10-20%

REM = 20-25% ^{14,15}.

1.3 Lärm und Lärmschutz

Seit dem 6. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union vom Jahr 2001 gilt Lärm neben Luft- und Wasserverschmutzung und gefährlichen Chemikalien als Umweltproblem, das die Gesundheit des Menschen beeinträchtigt. Im Grünbuch der Europäischen Kommission über künftige Lärmschutzpolitik von November 1996 wurde festgehalten, dass der von Verkehr,

Industrie und Freizeitaktivitäten verursachte Lärm, eines der wichtigsten lokalen Umweltprobleme für Europa darstellt. Laut Angaben des Grünbuches leiden 20% (ca. 80 Millionen Menschen) der EU-Bevölkerung unter Lärmpegeln, die von Wissenschaftlern und Gesundheitsexperten als inakzeptabel eingestuft werden¹. Die Wichtigkeit dieser Erkenntnisse spiegelt sich in der kontinuierlichen Einführung bzw. Durchsetzung von Lärminderungsmaßnahmen auf verschiedensten Ebenen wider. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Minimierung der durch Verkehrs-, Flug- und Schienenlärm, aber auch durch Industrie- und Gewerbelärm hervorgerufenen Belästigung.

Als Lärm werden diejenigen Geräusche bezeichnet, die vom Menschen als belästigend oder störend empfunden werden oder körperliche Schäden hervorrufen. Selbstverständlich gibt es hierbei individuell unterschiedliche Schwellen, die eine strikte Unterscheidung zwischen „nur“ Geräusch und „schon“ Lärm schwierig machen.

Im Rahmen langjähriger Lärmforschungen wurde die Theorie aufgestellt, dass die Lärmwirkung gewissen Einflussfaktoren, sogenannten Moderatoren unterliegt. Dazu zählen situative, personale und soziale Faktoren. Als situativer Moderator wird dabei der Zeitpunkt, zu dem die Lärmbelästigung stattfindet bezeichnet¹⁶. In einer Studie von J.M. Fields wurde der Tag in vier Lärm-Sensibilitätsperioden eingeteilt, in welchen die Menschen unterschiedlich empfindlich auf Lärmeinwirkungen reagieren. Man unterscheidet dabei die Nacht (0.00h – 05.00h), den Tag (09.00h – 16.00h) und zwei jeweils dazwischenliegende Übergangsperioden. Am Wochenende verändern sich diese Perioden geringfügig. Als besonders empfindlich gegenüber Lärm gelten die Nacht und der Übergang vom Tag zur Nacht¹⁷.

Als personale Komponente wird der Fakt betrachtet, dass die Selbsteinschätzung bezüglich der Lärmempfindlichkeit eine Rolle in der Wahrnehmung spielt. Das bedeutet, dass Personen, die sich selbst als lärmempfindlich bezeichnen, auch wirklich eine niedrigere Schwelle für Lärmbelästigung haben.

Einen weiteren Einfluss auf das Lärmempfinden hat die Aktivität, die während der Lärmeinwirkung ausgeführt wird. So können zum Beispiel am Arbeitsplatz laute Geräusche als nicht störend akzeptiert werden, während viel leisere Geräusche in der Freizeit, z.B. bei einer Unterhaltung, beim Lernen, in Phasen der Konzentration und im Schlaf bereits als lästig empfunden werden¹.

1.4 Lärm als Risikofaktor

Als Risikofaktoren für die Gesundheit werden laut World Health Organization diejenigen Einflussgrößen bezeichnet, die eine „Veränderung in Morphologie, Physiologie, Wachstum,

Entwicklung oder Lebenserwartung eines Organismus begünstigen, die zu einer Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit oder der Fähigkeit zusätzliche Belastungen zu kompensieren führen oder die Anfälligkeit (Empfindlichkeit) für schädliche Effekte durch andere Umwelteinflüsse erhöhen.“¹⁸.

Aus dieser Definition geht hervor, dass auch diejenigen Einflüsse, die nicht direkte Folgen hervorrufen, sondern lediglich die Prädisposition erhöhen, als Risikofaktoren gewertet werden. Zur Verhütung von Lärmschäden sind in den Arbeitsschutzrichtlinien persönliche Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der Lärmdosis genau festgelegt.

Laut Angaben des Umweltbundesamtes gehören zu den wichtigsten Lärmwirkungen Schlafstörungen und damit verbundene Leistungsbeeinträchtigungen ¹.

Interessant ist auch die Unterscheidung der akuten Wirkung von Lärm, die während der Einwirkung beobachtet wird und der überdauernden Wirkung, die auch noch lange Zeit nach der Lärmbelästigung zu beobachten ist. Hierbei spielt unter anderem die Dauer der Lärmbelästigung eine Rolle: eine längere Lärmeinwirkung kann einerseits eine Art der Gewöhnung an die Geräusche, andererseits eine Erhöhung der empfundenen Belastung und Chronifizierung der negativen Auswirkungen zur Folge haben ²⁰.

In einer schwedischen Studie wurde ein Zusammenhang zwischen der Langzeiteinwirkung von nächtlichem Lärm und kardiovaskulären Erkrankungen festgestellt. Der Studie zufolge führe bereits ein Anstieg der langzeitlichen nächtlichen Lärmeinwirkung um nur 5dB(A) zu einer Steigerung des Risikos unter einem Bluthochdruck zu leiden um 30% ²¹.

In einem Bericht vom Bundesumweltamt über die Auswirkungen von Verkehrslärm wurde ein erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen durch Langzeiteinwirkung von Verkehrslärm kontrovers diskutiert. Als gesichert gelten jedoch vegetative Reaktionen auf Verkehrslärm, wie eine erniedrigte Hauttemperatur, Änderung der Herzfrequenz, Abnahme der Fingerpulsamplitude, sowohl als auch eine Erhöhung der Konzentration der Stresshormone Cortisol, Adrenalin und Noradrenalin ¹⁹.

1.5 Schlaf und Geräusche/Lärm

Aufgrund des großen Stellenwertes erholsamen Schlafes aus gesundheitlicher und lebensqualitativer Sicht, werden Schlafstörungen als schädlichste Folge von Lärmbelastung betrachtet ²².

Dass der Mensch während des Schlafes nicht vollständig gegenüber seiner Umgebung abschirmt und somit nicht mehr empfänglich für Sinnesreize ist, hat Werner P. Koella bereits 1988 beobachtet ²³. Die unterschiedlichen Reaktionen auf während des Schlafes auftretende

Schallreize, wie das „Überschlafen“ eines Gewitters auf der einen Seite und das Erwachen durch ein deutlich leiseres Geräusch z.B. eines Kindes im Nachbarzimmer, ließen darauf schließen, dass afferente Sinnesreize auch während des Schlafes durch das zentrale Nervensystem analysiert und bewertet werden. Dennoch wird davon ausgegangen, dass es sowohl periphere als auch zentrale Abschirmmechanismen gibt, die für die Unterscheidung der nächtlichen und am Tage beobachteten Sinneswahrnehmungen verantwortlich sind. Mit Hilfe von evozierten Potentialen (kurze elektronische Potentialschwankungen, in diesem Fall entsendete Tonreize im Bereich der Hörbahn) konnten im EEG während der verschiedenen Schlafstadien unterschiedlich stark ausgeprägte Reaktionen auf den akustischen Reiz beobachtet werden. Auffallend ist insbesondere die geringe Amplitude des evozierten Potentials während des REM-Schlafes, die auf eine weitgehende Abschirmung des Organismus während des REM-Schlafes vermuten lässt²⁴.

Insgesamt konnte durch mehrere Experimente eine abnehmende Qualität der Informationsverarbeitung mit Zunahme der Schlaftiefe festgestellt werden, die in der REM-Schlafphase wieder zunimmt²⁵.

Nach den „Guidelines for Community Noise“ der World Health Organization (WHO) aus dem Jahr 1999 gelten folgende Empfehlungen, um die Lebensqualität aufrechtzuerhalten und gesundheitliche Folgen zu vermeiden:

Der mittlere Außenschallpegel sollte tagsüber (LAeq 16h) unter 55 dB (A) liegen, um „erhebliche Belästigungen im nennenswerten Umfang zu vermeiden“ und unter 50 dB (A) betragen, um „moderate Belästigung“ zu vermeiden. Der mittlere Außenschallpegel sollte abends und nachts (LAeq 8h) 5-10 dB (A) weniger als tagsüber betragen. Dabei gilt, dass im Schlafräum der gemittelte Schallpegel 30 dB (A) nicht überschreiten sollte¹.

Obwohl Deutschlands Städte im Vergleich zum europäischen Ausland einer relativ geringeren Lärmexposition unterliegen, sind dennoch 9% der Bevölkerung nachts einem Mittelungswert von mindestens 55 dB (A) ausgesetzt²⁶. Im Jahr 2009 wurde in den „Night Noise Guidelines for Europe“ der WHO ein nächtlicher, vor den Häusern über das Jahr gemittelter Wert von 40 dB (A) festgesetzt, der zur Vermeidung von umweltbedingten Schlafstörungen nicht überschritten werden sollte¹.

Die Folgen des Einflusses von Lärm auf den Schlaf lassen sich laut Griefahn und Spreng in primäre, sekundäre und tertiäre Effekte einteilen.

„Primäre Reaktionen auf Lärm während des Schlafes sind:

- Veränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG),
- Verlängerung der Einschlafzeiten,

- Verflachung der Schlaftiefe,
- Aufwachreaktionen und dadurch unterbrochene Schlafzyklen,
- fragmentierter Schlafverlauf,
- Zunahme von Körperbewegungen,
- Verkürzung der Gesamtschlafzeit,
- vegetative Reaktionen wie Veränderungen der Atemfrequenz und Hormonausschüttung²⁶.

Bei längerem Andauern dieser Effekte können sekundäre Folgen resultieren.

„Sekundäre Reaktionen nach dem Aufwachen nach einer durch Lärm gestörten Nacht sind:

- Verminderung der Leistungsfähigkeit in Beruf, Schule oder auch im Verkehr,
- psychische und psychosomatische Symptome (zum Beispiel Kopfschmerzen),
- Beeinträchtigung der Fähigkeit zu entspannen,
- Unausgeschlafen sein und Tagesmüdigkeit.“

Zu beachten ist, dass kurze und besonders laute Ereignisse, wie ein vorbeifahrender LKW, sich störender auswirken können als kontinuierlich über die Nacht gleichbleibende Schallpegel. Sie haben eine Verkürzung der REM- und Tiefschlafphase und häufigeres nächtliches Aufwachen zur Folge.

„Tertiäre Reaktionen treten nach lang anhaltender Lärmexposition und wiederkehrenden Schlafstörungen auf. Diese bleiben auch nach Beendigung der Exposition bestehen. Beispiele dafür sind Bluthochdruck, Herzinfarkt und erhöhter Arzneimittelgebrauch^{22,26}.

In der Vergangenheit wurde das Problem der nächtlichen Umgebungsgeräusche z.B. seitens Schallschutz nahe der Lärmquelle (Schallmauern an Autobahnen), durch Vermeidung der Emission von Geräuschen zu „empfindlichen“ Zeiten wie der Nacht (Flugzeuglärm) oder durch Reduktion des Geräuschpegels durch die Verwendung von Ohrstöpseln angegangen. Mit dieser Studie soll ein neuer Aspekt, die Reduktion von nächtlichen Geräuschen durch veränderte Raumakustik, angeführt werden.

1.6 Raumakustik

Die Raumakustik ist derjenige Zweig der Akustik, der sich mit dem Einfluss der baulichen Gegebenheiten eines Raumes auf Schallereignisse bzw. der Ausbreitung von Schall in Räumen auseinandersetzt. Die Erkenntnisse aus diesem Gebiet werden für die Gestaltung von Räumen, bei denen die Akustik im Mittelpunkt steht (Konzertsäle, Theater, Rundfunkstudios,

Vorlesungssäle), aber auch für Räumlichkeiten anderer Art, z.B. solche in denen viele Menschen zusammenkommen (Kirche, Restaurant, Wartesäle) gezielt genutzt. Dabei werden je nach Bestimmungszweck des Raumes die einzelnen Komponenten der Raumakustik verändert.

Die wohl wichtigste Komponente der Raumakustik ist die Nachhallzeit (Maß für die Halligkeit eines Raumes) und wird als diejenige Zeit definiert, die benötigt wird, um den Schall im Raum um 60 dB zu reduzieren. Diese Nachhallzeit ist sowohl von der Absorptionsfähigkeit der Wände, der Decke, des Bodens, der Einrichtung und des Volumen des Raumes, als auch von der Frequenz des Schalls abhängig, da die verschiedenen möglichen Baumaterialien eines Raumes verschiedene Frequenzen unterschiedlich stark absorbieren.

Eine weitere Komponente der Raumakustik ist der als Maß für Lautstärke geltende Schallpegel. Dieser setzt sich in einem Raum aus dem Direktschallfeld (von der Schallquelle ausgehende Abstrahlung des Schalls, die sich, wenn es keine begrenzende Wände geben würde regelmäßig verteilt und deren Schallpegel mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle abnimmt) und dem Diffusionsschallfeld (von Begrenzungen des Raumes reflektierte Schallanteile, die sich diffus im Raum verteilen und an jedem Ort im Raum den gleichen Schallpegel haben) zusammen. Durch den gezielten Einsatz von Absorbern und Diffusoren in den Begrenzungen eines Raumes, kann somit gezielt Einfluss auf die Raumakustik genommen werden und damit optimale Bedingungen für den Bestimmungszweck der Räumlichkeit gebildet werden²⁷. In dem in dieser Studie verwendeten „akustisch isolierten Raum“ wurde sich dieses Wissen zu Nutze gemacht, um durch eine stark reduzierte Halligkeit, die optimalen Bedingungen zur Durchführung von Hörtests zu schaffen. In der hier vorliegenden Studie soll ein solcher Raum nun erstmalig zu einer Schlafstätte umfunktioniert werden, um einen möglichen, positiven Einfluss dieser spezifischen Umstände auf die Schlafqualität zu überprüfen.

1.7 Fragestellung

Es ist wissenschaftlich anerkannt, dass Lärm sich negativ auf den Schlaf auswirkt. In zahlreichen Studien wird postuliert, dass eine Reduktion von nächtlichen Umgebungsgeräuschen die Schlafqualität deutlich verbessern würde. Bisherige Lärminderungsmaßnahmen zur Realisierung dieses Ziels, werden überwiegend nah der Emissionsstelle der Lärmquelle angesetzt, z.B. Schallmauern an Autobahnen oder neben Zuggleisen oder durch Einschränkungen der Lärmemission zu bestimmten Uhrzeiten (nächtliches Flugverbot). Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, eine Lärmreduktion durch eine veränderte Raumakustik der Schlafstätte zu bewirken.

Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob die Abwesenheit von Geräuschen, also Stille, die optimale Kondition für erholsamen Schlaf bei hörgesunden Menschen ist. Es soll untersucht werden, ob objektive oder subjektive Veränderungen des Schlafes unter schallreduzierten Bedingungen, im Vergleich zu „normaler“, akustisch unbeeinflusster Umgebung des Schlaflabors und häuslicher Umgebung auffallen.

Hierzu wird in einer klinisch-prospektiven Studie mit 24 hör- und schlafgesunden Probanden der Schlaf in drei verschiedenen Schlafstätten miteinander verglichen. Als akustisch isolierter Raum dient eine schallgeschützte Audiometrikabine, die eine deutlich geringere Halligkeit und einen verminderten Schallpegel als die anderen Räumlichkeiten aufweist. Die gemessene und über einen Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz gemittelte Nachhallzeit beträgt in diesem hochabsorbierenden Raum $T_m = 0,12s$. Der Grundgeräuschpegel im leerstehenden Raum beträgt $L_{Aeq} = 19 \text{ dB(A)}$.

Als Messmethode des objektiven Schlafverhaltens wird die Polysomnographie verwendet, zur Ermittlung des subjektiven Schlafverhaltens ein Fragebogen. Mit Hilfe der Parameter Schlaffeffizienz, prozentuale Verteilung der Schlafphasen, Schlafphasenlatenzen, Wachzeit nach Schlafbeginn und Weckreaktionen, sowie der Befragung der Probanden, sollen Rückschlüsse auf die Schlafqualität gezogen werden. Die Besonderheit unserer Studie liegt dabei darin, dass durch die Verwendung des akustisch isolierten Raumes eine relevante Geräuschreduktion hervorgerufen wird, ohne dass der Proband auf Hilfsmittel wie Ohrstöpsel, wie es in vorangegangenen Studien der Fall war, angewiesen ist.

Die Hypothese ist, dass die Schlafqualität in extrem ruhiger Umgebung (mit verminderter Halligkeit) gegenüber derjenigen zuhause oder in einem Schlaflabor, erhöht ist.

2. Methoden

2.1 Studienpopulation, Einschluss- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden 24 Probanden (15 männliche und 9 weibliche Probanden) eingeschlossen. Einschlusskriterien waren das Alter zwischen 18 und 40 Jahren und mittels Fragebögen und Anamnese ermittelter, objektiver „guter“ Schlaf ohne bekannte Schlafstörungen.

In der Anamnese wurde sichergestellt, dass die teilnehmenden Probanden an keinen relevanten Herz-Kreislauf-, psychischen, psychiatrischen sowie neurologischen Erkrankungen leiden. Des Weiteren wurde das Vorliegen eines Alkohol-, Medikamenten- oder Drogenabusus ausgeschlossen. Weitere Einschlusskriterien für die Studie waren ein regelmäßiger Schlaf-Wach-Rhythmus (z.B. keine Schichtarbeit) und die Nicht-Teilnahme an anderen klinischen Studien innerhalb der letzten vier Wochen.

Das Studiendesign wurde von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin am 20.04.2010 genehmigt.

2.2 Studienablauf

Die 24 Probanden, die die oben erläuterten Einschlusskriterien erfüllten und auf die keine der Ausschlusskriterien zutrafen, erhielten nach der mündlichen Aufklärung über den Ablauf der Studie eine schriftliche Teilnehmerinformation, wurden über Datenschutzbestimmungen aufgeklärt und unterschrieben eine Einverständniserklärung.

Die Studienpopulation wurde nun zufällig in sechs Gruppen eingeteilt, die jeweils eine unterschiedliche Reihenfolge der Abfolge der Untersuchungsorte vorsah. Auch die Daten, an denen die Probanden der unterschiedlichen Gruppen untersucht werden sollten, wurden zufällig verteilt.

Die drei Untersuchungs Nächte fanden in drei aufeinanderfolgenden Nächten statt, in Ausnahmefällen durfte maximal eine Lernnacht zwischen den Nächten liegen. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Nächte zu gewährleisten, fanden die Untersuchungen außerdem ausschließlich in Nächten statt, denen ein Arbeitstag folgt (keine Untersuchung an Freitagen und Samstagen). Die Bettgezeit der Probanden sollte zwischen 23.00h und 00.30h liegen und bei jedem Probanden innerhalb der drei Untersuchungs Nächte annähernd gleich bleiben. Die Probanden durften über den gesamten Studienzeitraum hinweg keinen Alkohol trinken und an den Untersuchungsabenden nach 14.00h keine koffeinhaltigen Lebensmittel und Getränke mehr zu sich nehmen. Auf Mittagsschlaf sollte über den Untersuchungszeitraum hinweg verzichtet werden. An den Abenden der Untersuchungs Nächte trafen die Probanden zwei bis drei Stunden

vor der vereinbarten Bettgezeit ein, um den abendlichen Fragebogen auszufüllen und verkabelt zu werden. In der Nacht in häuslicher Umgebung, wurde die Verkabelung im Zuhause des Probanden durchgeführt. Es wurde dabei ein tragbares Polysomnographie-Gerät verwendet und die Probanden nach der Verkabelung ohne Überwachung bis zum nächsten Morgen in ihrem Zuhause allein gelassen. Am Morgen wurden die Kabel durch ausgebildetes Personal wieder entfernt und das Gerät zur Einlesung der Daten mitgenommen. Auch in der Nacht im akustisch isolierten Raum wurde das tragbare Polysomnographie-Gerät verwendet, allerdings fand hier eine nächtliche Überwachung der polysomnographischen Signale statt, so dass, wie in den Nächten im Schlaflabor, bei eventuell auftretenden Fehlern eingegriffen werden konnte. Die Zeit zwischen Aus- und Einschalten des Lichtes sollte in allen Nächten mindestens sechs und maximal acht Stunden betragen. Nach Ausschalten des Lichtes, durften die Probanden weder lesen, fernsehen, essen oder trinken und sollten nur aufstehen, um gegebenenfalls auf die Toilette zu gehen. Am Morgen wurden die Probanden durch das Personal geweckt und durften, auch bei eventuell früherem Erwachen, nicht vorher aufstehen. Am Morgen wurde nach dem Entfernen der Kabel ein Fragebogen ausgefüllt.

2.3 Die Untersuchungsorte

Die nächtlichen Untersuchungen fanden für jeden der 24 Probanden an drei unterschiedlichen Orten statt. Sich voneinander unterscheidende Grundgeräuschpegel und nicht zu stark voneinander abweichende Raumtemperaturen und Raumluftfeuchtigkeit waren dabei Grundvoraussetzungen für die drei Räumlichkeiten.

2.3.1 Das Schlaflabor

Die Nächte im Schlaflabor fanden im Forschungsschlaflabor “Advanced Sleep Research GmbH” statt. Das Schlaflabor hat zwölf Einzelzimmer, ist modern eingerichtet und erinnert wenig an eine übliche Krankenhaussituation. Die Zimmer sind entweder zur Straße hin oder zu einem ruhigen Hinterhof ausgerichtet. Um die Umgebungsbedingungen möglichst einheitlich zu halten, schliefen die Probanden dieser Studie ausschließlich in denen, zum Hinterhof ausgerichteten Zimmern. Die durchschnittliche Zimmergröße im Schlaflabor betrug 12 qm², die Deckenhöhe ca. 2,75 m. Der Boden der verwendeten Zimmer im Schlaflabor ist mit Teppich ausgelegt und bei dem Gebäude handelt es sich um einen Neubau, dementsprechend waren die Zimmer mit modernen, gut isolierten Fenstern ausgestattet. So konnten tagsüber zeitweise nahezu gleiche Lautstärkepegel wie im akustisch isolierten Raum gemessen werden, die Raumakustik unterschied sich jedoch durch die Halligkeit. Die gemessene und über einen

Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz gemittelte Nachhallzeit beträgt in diesem normal eingerichteten Raum $T_m = 0,42s$. Der mittlere Grundgeräuschpegel des leerstehenden Zimmers beträgt $L_{Aeq} = 24,9 \text{ dB(A)}$. Die in den Nächten der Schlafableitung gemessenen Schallpegelwerte unterscheiden sich von den Werten des leerstehenden Zimmers (z.B. durch die vom Probanden verursachten Geräusche).

Gegenüber der häuslichen Umgebung der Probanden, war die Halligkeit in den Zimmern des Schlaflabors jedoch erniedrigt.

2.3.2 Der akustisch isolierte Raum

Bei dem akustisch isolierten Raum handelt es sich um eine Hörkabine in der HNO-Polyklinik der Charité-Universitätsmedizin Berlin, in der normalerweise Hörtests durchgeführt werden. Der Raum misst ungefähr 10 qm^2 mit einer Deckenhöhe von 2,10 m und beinhaltet das für die Durchführung von Hörtests benötigte Equipment. Für die nächtlichen Untersuchungen im Rahmen dieser Studie wurde an jedem Untersuchungsabend ein Einzelbett aufgestellt und die gleiche Matratze wie im Schlaflabor verwendet. Der Raum war durch zwei isolierende Türen vom Nachbarraum, der hier als nächtlicher Überwachungsraum diente, abgeschirmt. Über Nacht wurden alle elektrischen Geräte und Steckdosen in der Hörkabine ausgeschaltet, um mögliche Geräuschquellen zu minimieren. Das Verbindungskabel vom tragbaren Polysomnographie-Gerät zum Computer, an dem die aufgezeichneten Daten online im benachbarten Raum visualisiert wurden, wurde durch eine dafür vorgesehene Kabelverbindung aus dem akustisch isolierten Raum geleitet. Der Raum ist mit Teppich ausgelegt. Der mittlere Grundgeräuschpegel (auch Hintergrundgeräusch genannt) in der leeren Hörkabine betrug $L_{Aeq} = 19\text{dB(A)}$. Die gemessene und über einen Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz gemittelte Nachhallzeit beträgt in diesem Raum $T_m = 0,12s$. Der hochabsorbierende Audiometrieraum dämpft den Grundgeräuschpegel (Hintergrundgeräusch) des Raumes mittels Absorption. Bei Halbierung der Nachhallzeit in diesem Raum reduziert sich der Schalldruckpegel theoretisch um 3 dB. Die in den Nächten der Schlafableitung gemessenen Schallpegelwerte unterscheiden sich von den Werten des leerstehenden Zimmers (z.B. durch die vom Probanden verursachten Geräusche).

Im Nachfolgenden sind die Begriffe „akustisch isolierter Raum“, „Audiometrikabine“, "Hörkabine" oder „akustisch isolierte oder schallreduzierte Umgebung“ stets unter den Bedingungen der Reduktion von Lautstärke und Halligkeit zu verstehen.

2.3.3 Häusliche Umgebung

In der Nacht in häuslicher Umgebung, schliefen die Probanden in ihrem gewohnten Umfeld im

eigenen Zuhause. Die Probanden wurden darum gebeten ihren normalen Gewohnheiten zu folgen (z.B. Fenster/Türen/Vorhang geöffnet oder geschlossen). Nach dem Ausschalten des Lichtes sollten jedoch oben genannte Regeln eingehalten werden.

23 der 24 Probanden wohnten zum Zeitpunkt der Studie in Altbauten mit einer durchschnittlichen Deckenhöhe von 3,30 m und durchschnittlicher Schlafzimmersgröße von 18 qm². Die Räume waren mit Holzböden ausgestattet.

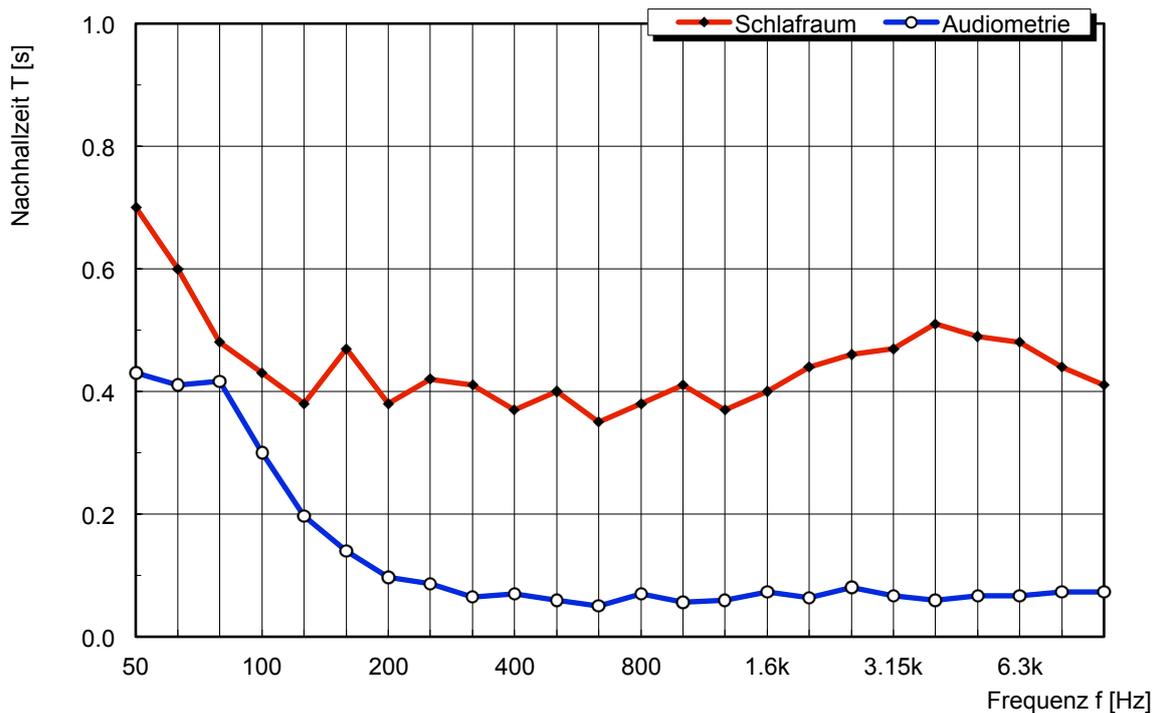


Abbildung 2-1: Vergleich der gemessenen Nachhallzeiten in einem Raum des Schlaflabors (Schlafraum) und der Audiometrikabine

2.4 Messmethoden

2.4.1 Polysomnographie

Die Polysomnographie wurde in drei Nächten in drei verschiedenen Settings durchgeführt. Die Polysomnographie gilt aktuell als der Goldstandard der Messmethoden, die zur Untersuchung des Schlafes dienen²⁸. Die Verwendung des EEG's erlaubt eine Schlafstadieneinteilung und damit die Erkenntnis über die Schlaftiefe des Probanden. Durch die gleichzeitige Aufzeichnung der durch Muskelbewegungen und Atmung hervorgerufenen Signale lassen sich atem- bzw. bewegungsabhängige Änderungen oder Unterbrechungen der Schlafphasen von denjenigen unterscheiden, die durch andere Faktoren hervorgerufen werden. Dadurch wird eine Analyse des Schlafes möglich, die in diesem Umfang und dieser Genauigkeit bisher mit keinem anderen

Verfahren möglich ist. Die Schlafableitung beinhaltete dabei in allen drei Nächten die folgenden Parameter:

- Elektroenzephalogramm (EEG): Es wurden die Kanäle C3-A2 und C4-A1 im 10-20 System abgeleitet.
- Elektrookulogramm (EOG): Die Änderung der Potentialdifferenz zwischen Retina und Cornea wurde mittels zweier, jeweils lateral des äußeren Augenwinkels angebrachter Elektroden gegen eine gemeinsame Referenz abgeleitet.
- Elektromyogramm des Kinns (EMG-Chin): Durch zwei Elektroden über dem M. Mentalis
- Elektromyogramm der Beine (EMG-Tib.): Durch jeweils zwei Elektroden über dem M. Tibialis
- Elektrokardiogramm (EKG)
- Nasaler Flow: Durch eine Nasal Cannula
- Thorax- und Abdomenbewegungen: Durch Thorax- und Abdomengurt
- Puls und Sauerstoffgehalt des Blutes: Durch ein Pulsoxymeter am nicht dominanten Arm

Abbildung 2-2 zeigt die Ableitungspunkte und die zugehörigen Signale, wie sie durch die entsprechende Software visualisiert werden.

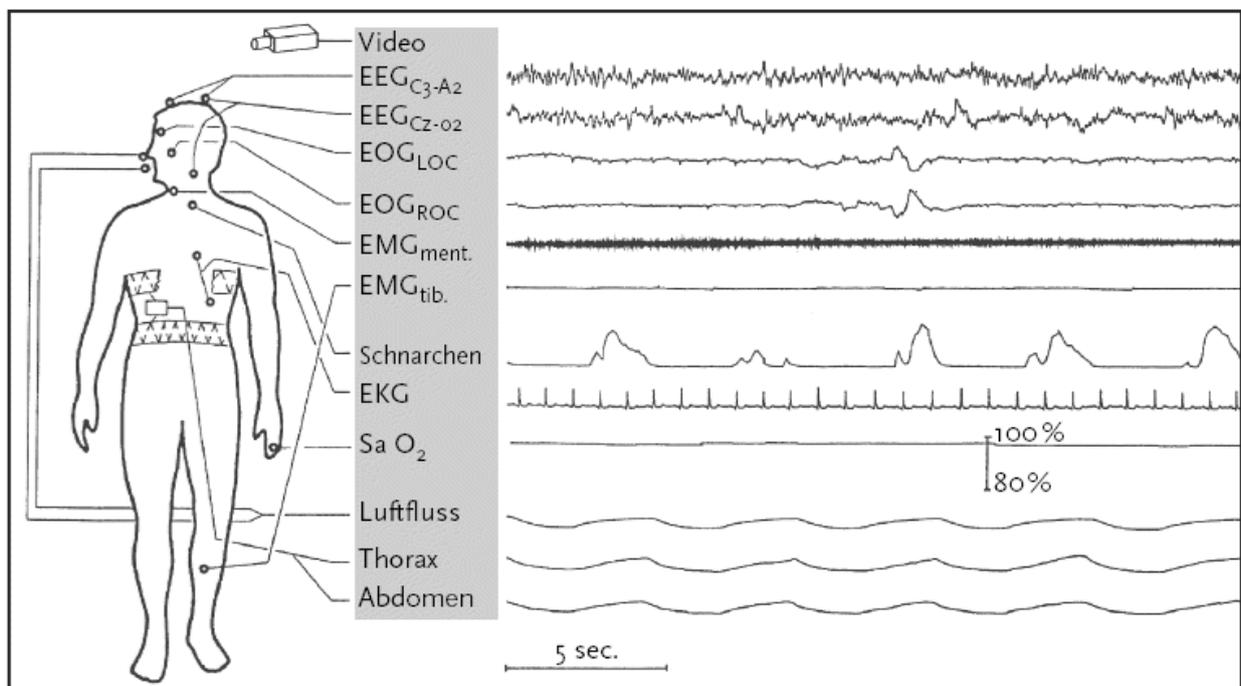


Abbildung 2-2: Kardiorespiratorische Polysomnographie: Darstellung der polysomnographisch erfassten Daten wie sie in der Auswertungssoftware sichtbar sind mit Kennzeichnung der jeweiligen Ableitungspunkte am Körper¹⁵.

Zur Ableitung der Signale wurde im Schlaflabor das System EMBLA N7000 (Embla Inc., USA)

und im häuslichen Bereich und in der Hörkabine das mobile Gerät „Somnocheck R&K“ (Weinmann Medizingeräte GmbH, Hamburg, D) eingesetzt. Letzteres zeichnete die Daten auf einer integrierten CF-Karte auf, welche dann durch die Software „SOMNOlab“ visualisiert und ausgewertet werden konnten. Das im Schlaflabor verwendete System EMBLA zeichnete online auf und wurde mit der Software Somnologica 3.3 des gleichen Herstellers visualisiert und ausgewertet.

Die Auswertung des Schlafes erfolgte visuell in 30-Sekunden-Epochen nach den AASM-Kriterien²⁹. Danach werden die Schlafphasen wie folgt eingeteilt:

REM -> überwiegende Aktivität bei 2-6 Hz, „Rapid Eye Movement“, niedriger Tonus des EMG am Kinn

N1 -> niedrige Amplitude, überwiegende Aktivität bei 4-7 Hz (über 50%). Auch als Leichtschlafphase bezeichnet.

N2 -> falls in der ersten Hälfte der Epoche oder in der zweiten Hälfte der vorangegangenen Epoche entweder K-Komplexe oder Schlafspindeln oder beide auftreten. Ebenfalls als Leichtschlafphase bezeichnet.

N3 -> Wellen mit einer Frequenz von 0,2 Hz – 5 Hz und einer Peak-to-Peak Amplitude von über 75 Mikrovolt (mindestens 20%). Auch als Slow-wave-sleep (SWS) oder Tiefschlaf bezeichnet.

Alle 72 polysomnographisch überwachten Nächte wurden von einer ausgebildeten Fachkraft ausgewertet.

2.4.1.1 Erläuterung der Schlafparameter

Die ermittelten Schlafparameter ergeben sich entweder direkt aus den Messungen (z.B. die Gesamtbettliegezeit) oder werden von der verwendeten Auswertungs-Software automatisch berechnet (z.B. Schlaffeffizienz). Die in dieser Studie einbezogenen und unten genannten Schlafparameter, gelten als aussagekräftig im Bezug auf die Bewertung der Schlafqualität des Probanden.

Gesamtbettliegezeit (time in bed – TIB)

Gesamte Zeit, die der Proband im Bett liegend verbracht hat in Stunden, Minuten und Sekunden.

Gesamtschlafzeit (total sleep time – TST)

Gesamtzeit, die schlafend verbracht wurde in Stunden, Minuten und Sekunden.

Schlaffeffizienz

Gesamtschlafzeit / Gesamtbettliegezeit * 100%. Angabe in Prozent.

REM-, N1-, N2-, N3-Latenz

Latenz bis zum erstmaligen Auftreten der jeweiligen Schlafphase über 20 Epochen von mindestens 30 Sekunden (=10 Minuten). Angabe in Stunden, Minuten und Sekunden. Als Einschlaf Latenz bezeichnet man diejenige Zeit, die bis zum ersten Auftreten einer beliebigen Schlafphase über 20 Epochen = 10 Minuten benötigt wird. Dies muss nicht Schlafphase N1 sein.

REM-, N1-, N2-, N3-% von TST

Angabe wie viel Prozent der TST in der jeweiligen Schlafphase verbracht wurden.

Weckreaktion (Arousal)

Abrupte Änderung des Schlaf-EEG, mit einer Dauer von über 10 Sekunden. die entweder im Zusammenhang mit einem respiratorischen Ereignis, im Zusammenhang mit (periodischen) Beinbewegungen oder durch eine unbekannte Ursache ausgelöst wird, die entweder spontan auftritt oder auf Umstände der Umgebung, wie Geräusche, Licht oder Temperaturveränderungen zurückzuführen ist.

Wachzeit nach Schlafbeginn (wake after sleep onset – WASO)

Zeit, die nach Schlafbeginn und vor endgültigem Aufwachen im Zustand „wach“ verbracht wird. Angabe in Stunden, Minuten und Sekunden.

2.4.2 Fragebögen

Die im Folgenden erläuterten Fragebögen waren entweder Teil der vor der Durchführung der Studie getesteten Eignung der Probanden für die Studie (Überschreitung eines sogenannten Cut-off-Wertes führte zum Ausschluss aus der Studie) oder während der Studie durchgeführte Umfragen, durch die das subjektive Empfinden der Probanden erfragt wurde.

Vor der Teilnahme an der Studie beantwortete Fragebögen:

Epworth Sleepiness Scale (ESS)

Die „Epworth Sleepiness Scale“ wird zur Ermittlung der Tagesschläfrigkeit verwendet. Jeder Proband muss in acht verschiedenen Situationen angeben, wie hoch er die Wahrscheinlichkeit einschätzt, in einer dieser Situation einzunicken oder einzuschlafen. Dabei kann jede Situation mit Zahlenwerten von null bis vier bewertet werden (0 = würde niemals einnicken, 4 = hohe

Wahrscheinlichkeit einzunicken). Das Testergebnis ist ein Wert zwischen null und 24. Da Werte von über zehn als klinisch auffällig gelten, konnten an dieser Studie ausschließlich Probanden mit Werten unter zehn teilnehmen ³⁰.

Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)

Mit Hilfe des "Pittsburgh Sleep Quality Index" werden Schlafqualität und Beeinträchtigungen des Schlafes innerhalb des vorangegangenen Monats ermittelt. In 19 Fragen, deren Bewertung aufgeteilt in sieben Komponenten erfolgt, werden Fragen zur subjektiven Schlafqualität, Einschlafzeit, Schlafdauer, gewöhnlicher Schlafeffizienz, Beeinträchtigung des Schlafes, Verwendung von Schlafmedikation und Tagesschläfrigkeit beantwortet. Der Schlaf derjenigen Probanden, die als Gesamtergebnis einen Wert unter fünf erhalten, wird als „guter Schlaf“ bewertet. Voraussetzung für die Teilnahme an dieser Studie war ein PSQI-Ergebnis unter fünf ³¹.

Insomnia Severity Index (ISI)

Der „Insomnia Severity Index“ dient zur Einschätzung des Schlafes der letzten zwei Wochen. Er wird zur Selbsteinschätzung von Ein- und Durchschlafstörungen, Früherwachen, Zufriedenheit mit dem gegenwärtigen Schlaf, Einfluss des Schlafes auf Lebensqualität/Leistungsfähigkeit tagsüber und die Besorgnis bezüglich der, falls vorhandenen, Schlafstörung verwendet. Jede Frage kann mit einem Punktwert von null bis vier bewertet werden. Das Endergebnis ist ein Wert zwischen null und 28, wobei die unterschiedlichen Ergebnisse wie folgt bewertet werden: Null bis sieben Punkte: Klinisch unauffällig, es liegt keine Insomnie vor. Sieben bis 14 Punkte: unterschwellige Insomnie. 15 bis 21 Punkte: mittelgradige klinische Insomnie. 22 bis 28 Punkte: schwere Insomnie. In dieser Studie wurden alle Probanden mit einem Ergebnis von über sieben ausgeschlossen ³².

Während der Studie verwendeter Fragebogen:

Fragebogen Visuell-Morgens (VIS-M)

Dieser Fragebogen wird am Morgen nach einer polysomnographisch überwachten Nacht angewendet. Der Fragebogen enthält neben klassisch, durch ein Kreuz zu beantwortende Fragen auch solche Fragen, die durch die Verwendung visueller Analogskalen beantwortet werden. Der Proband muss dabei einen Punkt auf einer waagerechten Linie markieren, die zwischen der negativsten und der positivsten Antwortmöglichkeit liegt und der jeweiligen Empfindung bezüglich der Frage entspricht. Um automatisierte Antworten zu verhindern, ist die Anordnung

der positivsten und negativsten Antwort bei unterschiedlichen Fragen entweder rechts oder links aufgeführt. Zur Auswertung wurde die horizontale Linie in 100 Abschnitte eingeteilt, wobei null die positivste und 100 die negativste Antwort (oder umgekehrt) waren. In dieser Arbeit wurde das erste Item des Fragebogens verwendet. Auf einer Skala von 0 (schrecklich müde) bis 100 (wundervoll frisch und energiegeladen) muss hierbei angegeben werden, wie müde sich der Proband am Morgen nach der Untersuchung fühlt ³³.

2.4.3 Geräuschemessung

Die kontinuierliche Messung der Lautstärke während der gesamten Nacht erfolgte durch einen tragbaren Audio- und Akustik-Analysator XL2 der Firma NTi Audio. Das Gerät hat ein integriertes Mikrofon (M4260) mit einer Sensibilität von 32,6 mV/Pa, worüber ein gleitender, zeitlich gemittelter Schallpegel (LAeq60+k1) mit 60 Minuten Gleitzeit und einberechnetem Korrekturwert k1 gemessen wurde. Das Gerät wurde bei Verwendung in der Untersuchungsnacht ca. einen Meter entfernt vom Bett des Probanden platziert und war über ein Netzteil mit dem Stromnetz in Verbindung. Die Messungen erfolgten sekundlich, die Daten wurden auf einer integrierten Speicherkarte aufgezeichnet, die am nächsten Morgen in den Computer eingelesen werden konnten. Für die statistische Auswertung wurde je ein Mittelwert der Schallpegel pro Schlafstätte aus den Nächten, in denen eine Geräuschemessung stattfand, verwendet.

2.4.4 Luftfeuchtigkeits- und Temperaturmessung

Zur nächtlichen Messung der Raumtemperatur und Raumluftfeuchtigkeit wurde ein digitales, tragbares und batteriebetriebenes Thermometer und Hygrometer mit einem Messbereich der Temperatur von -10 bis +60 Grad Celsius und der Luftfeuchtigkeit von 10% bis 60% verwendet. Das Gerät ermöglicht die stichprobenartige Ermittlung der aktuellen Temperatur und Luftfeuchtigkeit jeweils am Abend und am nächsten Morgen, sowie die über den Messzeitraum aufgetretene Maximal- und Minimalwerte beider Parameter. Für die statistische Auswertung wurde ein für jede Nacht in der gemessen wurde, errechneter Mittelwert verwendet.

2.5 Statistische Auswertung

Die gesammelten Daten wurden mit dem Programm SPSS Statistics 20.0 für Mac ausgewertet. Abbildungen und Graphiken wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2001 für Mac und Tabellen mit dem Programm Microsoft Word 2011 für Mac erstellt. Zunächst wurden alle erhobenen Daten auf Normalverteilung getestet, um nachfolgend entsprechende Tests zu verwenden.

Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für alle Parameter berechnet. Mit Hilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung, konnte festgestellt werden, ob der Untersuchungsort im Zusammenhang mit den sich eventuell unterscheidenden Mittelwerten der verschiedenen gemessenen Schlafparametern stand. Durch Post Hoc Tests wurde bei signifikanten Ergebnissen ermittelt, welche der Werte sich genau signifikant unterschieden. Ebenfalls Verwendung fand ein T-Test für verbundene Stichproben. Des Weiteren wurden Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern überprüft. Dies erfolgte durch die Korrelation nach Pearson. Ein positiver Korrelationskoeffizient bzw. ein negativer Korrelationskoeffizient erlaubten eine Aussage darüber, ob die beiden geprüften Variablen positiv bzw. negativ miteinander korreliert sind. Die Überprüfung nach linearen Zusammenhängen zwischen Variablen erfolgte durch Verwendung einer linearen Regression.

Das Signifikanzniveau wurde bei allen verwendeten Verfahren auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Der Prozentsatz des Konfidenzintervalls auf 95%. Alle Ergebnisse wurden nach der zweiten Kommastelle gerundet, im Zweifelsfall wurde abgerundet. Angaben in Minuten und Sekunden wurden auf Minuten gerundet.

3. Ergebnisse

3.1 Probanden und anthropometrische Daten

Von 24 Studienteilnehmern, waren 15 Teilnehmer männlich (62,5%) und 9 Teilnehmer weiblich (37,5%). In der folgenden Tabelle sind die anthropometrischen Daten der Studienteilnehmer zusammengefasst.

Tabelle 3-1: Mittelwerte der anthropometrische Daten der Probanden (Anzahl der Probanden, Körpergewicht, Körpergröße, Alter, BMI)*

| | Männliche Probanden | Weibliche Probanden | Gesamtkollektiv |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Anzahl | 15 (62,5%) | 9 (37,5%) | 24 (100%) |
| Körpergewicht [kg] | 74,67 ± 9,10 | 63,44 ± 4,61 | 70,46 ± 9,44 |
| Körpergröße [cm] | 183,33 ± 6,62 | 172,00 ± 6,24 | 179,08 ± 8,48 |
| Alter [a] | 25,33 ± 4,36 | 24,11 ± 3,48 | 24,88 ± 4,07 |
| BMI [kg/m²] | 22,13 ± 1,64 | 21,46 ± 1,37 | 21,88 ± 1,57 |

* Mittelwert ± Standardabweichung, BMI = Body Mass Index

Das Durchschnittsalter der Probanden betrug 24,88 Jahre (Standardabweichung SD = 4,07), die männlichen Teilnehmer lagen mit 25,33 Jahren (SD = 4,36), im Gegensatz zu den Frauen (24,11 Jahre, SD = 3,48) etwas über dem Durchschnitt. Die durchschnittliche Körpergröße aller Probanden betrug 179,08 cm (SD = 8,48), wobei die männlichen Teilnehmer mit durchschnittlichen 183,33 cm (SD = 6,62) deutlich größer waren, als die weiblichen Teilnehmer mit 172,00 cm (SD = 6,24).

Auch beim Körpergewicht wurden klare Unterschiede zwischen den männlichen und weiblichen Studienteilnehmern ermittelt. Das Durchschnittsgewicht aller Probanden betrug 70,46 kg (SD = 9,44), das der männlichen Teilnehmer 74,67 kg (SD = 9,10) und das der weiblichen Teilnehmer 63,44 kg (SD = 4,61). Der Body Mass Index aller Probanden befand sich innerhalb des durch die World Health Organization klassifizierten Normalbereichs. Die Berechnung desselben erfolgte über die Formel: BMI = Gewicht in kg/ (Körpergröße in Metern x Körpergröße in Metern). Der Normalbereich ist auf Werte zwischen 18,50 und 24,99 festgelegt und lag beim Gesamtkollektiv dieser Studie bei 21,88 (SD = 1,57). Der BMI der weiblichen Studienteilnehmer lag mit 21,46 (SD = 1,37) etwas darunter und der BMI der männlichen Studienteilnehmer mit 22,13 (SD = 1,64) etwas darüber³⁴.

3.2 Fragebögen

3.2.1 PSQI, ISI und ESS

Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die vor der Durchführung der Studie ausgefüllten Fragebögen PSQI, ISI und ESS. Die Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie war es, Werte unterhalb des Cut-Off Wertes des jeweiligen Fragebogens zu erlangen. Alle der 24 Probanden erfüllten diese Voraussetzungen. Der ‐Pittsburgh Sleep Quality Index‐ (PSQI) dient zur subjektiven Einschätzung des Schlafes des Probanden in den vergangenen vier Wochen. Der ermittelte Mittelwert des PSQI lag bei 2,37 (SD = 1,08) und liegt damit deutlich unter dem Cut-off Wert von 5. Dasselbe gilt für die Ergebnisse des ‐Insomnia Severity Index‐ (M = 1,5, SD = 1,54, Cut-Off Wert = 7), der eventuell vorhandene Schlafstörungen durch Fragen über den Schlaf der vergangenen zwei Wochen ermittelt und der ‐Epworth Sleepiness Scale‐ (M = 4, SD = 2,11, Cut-Off Wert = 10), die die Tagesschläfrigkeit des Probanden abschätzen lässt. Diese Ergebnisse erlauben eine Klassifikation der Studienteilnehmer als ‐gesunde Schläfer‐.

Tabelle 3-2: Auswertung der Fragebögen PSQI, ISI und ESS, Ausschlusskriterium der Studie: Überschreitung des Cut-Off-Wertes*

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | SD | Cut-Off-Wert |
|-------------|----|---------|---------|------------|------|--------------|
| PSQI | 24 | 0 | 4 | 2,37 | 1,08 | 5 |
| ISI | 24 | 0 | 6 | 1,50 | 1,54 | 7 |
| ESS | 24 | 0 | 8 | 4,00 | 2,11 | 10 |

* N = Anzahl, SD = Standardabweichung, PSQI = Pittsburgh Sleep Quality Index, ISI = Insomnia Severity Index, ESS = Epworth Sleepiness Scale

3.2.2 Fragebogen VIS-M

Das Item 1 des Fragebogens VIS-M wurde morgens von den Probanden beantwortet und beschreibt den aktuellen Zustand nach dem Aufstehen (0 = schrecklich müde, 100 = wundervoll frisch und energiegeladen).

Der Mittelwert nach der Nacht zuhause betrug 62,00 (SD = 15,03), nach der Nacht im akustisch isolierten Raum M = 58,43 (SD = 16,06) und nach der Nacht im Schlaflabor M = 51,17 (SD = 20,67). Demnach fühlten sich die Probanden am Morgen nach der Nacht in häuslicher Umgebung am ‐frischesten‐, gefolgt vom Morgen im akustisch isolierten Raum. Am nächsten zur Bewertung ‐schrecklich müde‐, fühlten sich die Probanden nach der Nacht im Schlaflabor. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

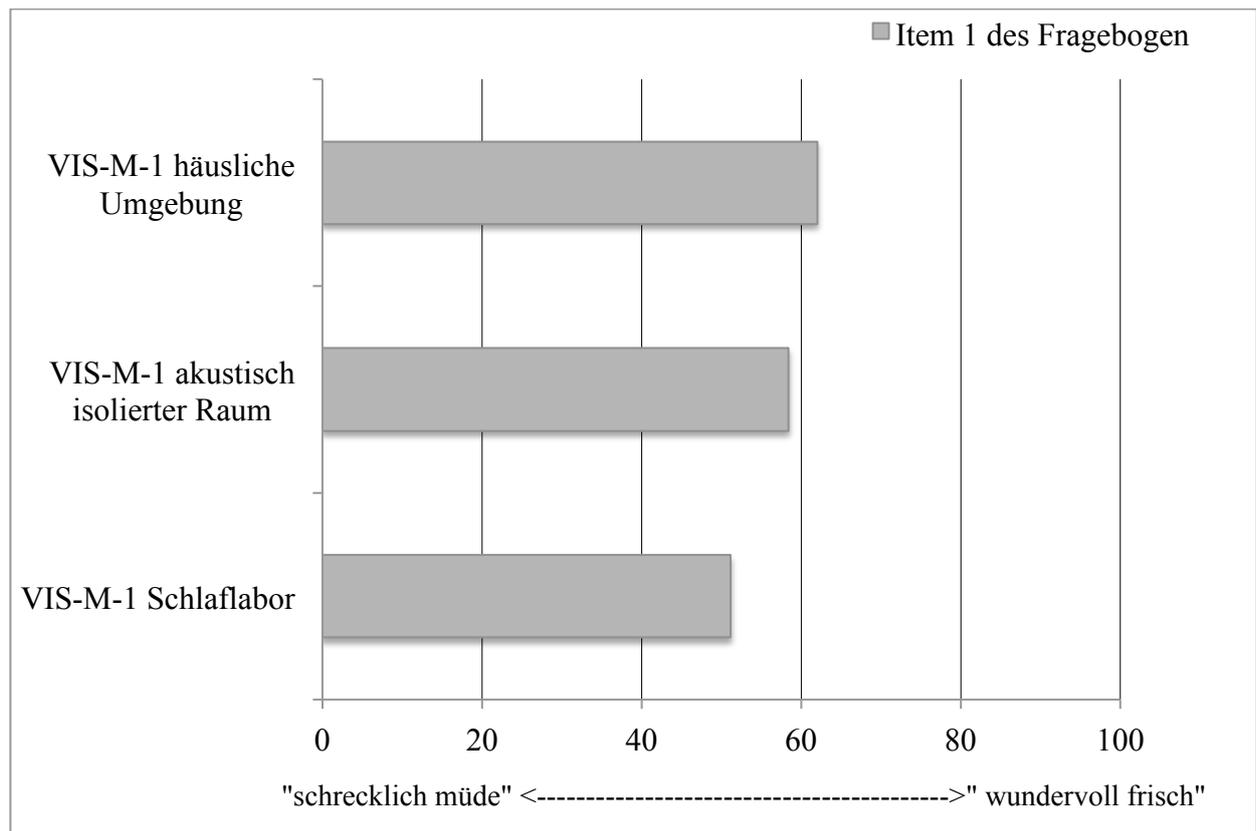


Abbildung 3-1: Balkendiagramm zur Darstellung der Mittelwerte und den Standardabweichungen auf einer visuellen Analogskala des Item 1 des Fragebogen VIS-M* (visuell-morgens) nach den Nächten in häuslicher Umgebung, im akustisch isolierten Raum und im Schlaflabor

In Tabelle 3-3 sind die Ergebnisse des T-Tests für verbundene Stichproben aufgeführt. Dieser sollte überprüfen, ob der in Abbildung 3-1 dargestellte Trend statistische Signifikanz aufweist. Die oben aufgeführten Differenzen der Mittelwerte zwischen den nach der Nacht im Schlaflabor und nach der Nacht in häuslicher Umgebung ermittelten Werte, unterscheiden sich signifikant ($p = 0,028$). Die beiden anderen Tests führten nicht zu signifikanten Ergebnissen, was bedeutet, dass es sich bei den anderen Mittelwertsunterschieden lediglich um einen Trend handelt, der jedoch statistisch nicht signifikant ist.

Tabelle 3-3: Ergebnisse des T-Tests für verbundene Stichproben zur Feststellung der Signifikanz der unterschiedlichen Ergebnisse des Item 1 des Fragebogen VIS-M nach den Nächten im Schlaflabor, in häuslicher Umgebung und im akustisch isolierten Raum.

| | Mittelwert* | SD* | T | df | Sig. (2-seitig) |
|-------------------------|-------------|-------|-------|----|-----------------|
| VIS-M-1(H) – VIS-M-1(I) | -2,29 | 18,36 | -0,61 | 23 | 0,547 |
| VIS-M-1(H) – VIS-M-1(S) | -10,83 | 22,13 | -2,35 | 22 | 0,028 |
| VIS-M-1(I) – VIS-M-1(S) | -7,26 | 23,16 | -1,50 | 22 | 0,147 |

* Mittelwert und Standardabweichung (SD) beziehen sich auf die Differenzen der Messwert-Paare
T = Prüfgröße t, df = Anzahl der Freiheitsgrade, Sig. (2-seitig) = Signifikanz (p)

3.3 Polysomnographisch gemessene Schlafparameter

3.3.1 Schlafeffizienz und prozentuale Verteilung der Schlafphasen

Die mittlere Schlafeffizienz betrug im Schlaflabor 89,21% (SD = 7,28), im akustisch isolierten Raum 91,0 % (SD = 4,22) und zuhause 90,39 % (SD = 9,46). Die Differenzen der Werte haben keine statistische Signifikanz.

Im Schlaflabor betrug der Anteil an Schlafphase N1 8,22 % (SD = 3,59), im akustisch isolierten Raum 7,02 % (SD = 3,02) und zuhause 8,67 % (SD = 3,54). Der Anteil an Schlafphase N2 der TST betrug im Schlaflabor 44,72 % (SD = 6,69), im akustisch isolierten Raum 42,95 % (SD = 9,44) und zuhause 43,60 % (SD = 9,32). Diese Unterschiede der Mittelwerte an den verschiedenen Untersuchungsorten zeigen keine statistische Signifikanz.

Abbildung 3-2 stellt die Unterschiede der prozentualen Verteilung der Schlafphasen bezogen auf die totale Schlafzeit in den drei Settings dar.

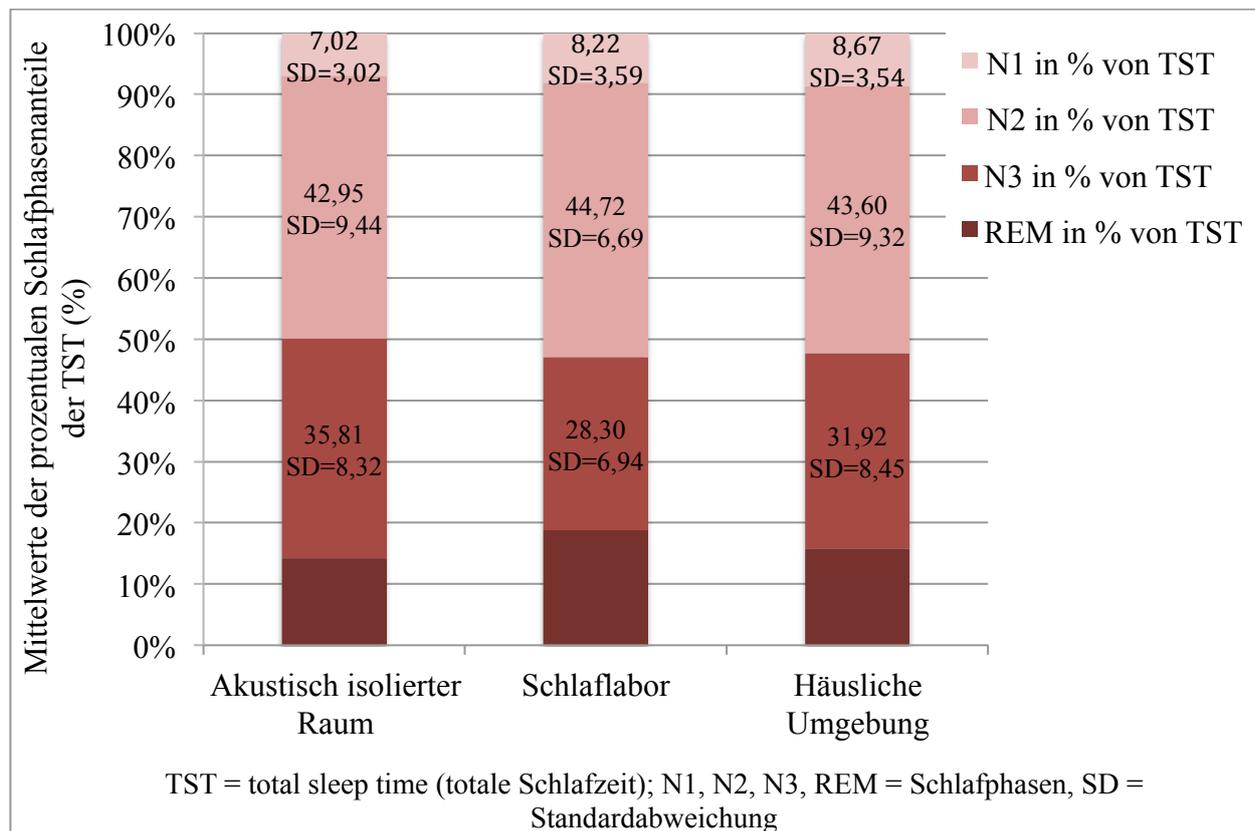


Abbildung 3-2: Säulendiagramm zur Darstellung der prozentualen Anteile der Schlafphasen an der totalen Schlafzeit (TST – total sleep time) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung

Deutliche Unterschiede an dem prozentualen REM-Schlafanteil der TST sind in Abbildung 3-3 dargestellt. Der gemessene Mittelwert im Schlaflabor ist mit 18,77 % (SD = 4,24) deutlich höher als der im akustisch isolierten Raum 14,24% (SD = 5,10) und zuhause 15,79 % (SD = 5,51). Die

Varianzanalyse mit Messwiederholung bestätigt, dass der Faktor „Untersuchungsort“ einen signifikanten Einfluss auf den prozentualen REM-Schlafanteil der totalen Schlafzeit hat ($p = 0,000$). Der Faktor „Untersuchungsort“ klärt in dieser Analyse 31,6 % der Varianz des prozentualen REM-Schlafanteils auf ($\eta^2 = 0,316$). Die errechneten Unterschiede der Mittelwerte des prozentualen REM-Schlafanteils zwischen Schlaflabor und akustisch isoliertem Raum ($p = 0,001$) und Schlaflabor und häuslicher Umgebung ($p = 0,028$) sind dabei signifikant. Der Unterschied der Mittelwerte des prozentualen REM-Schlafanteils im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung hingegen, ist statistisch nicht signifikant.

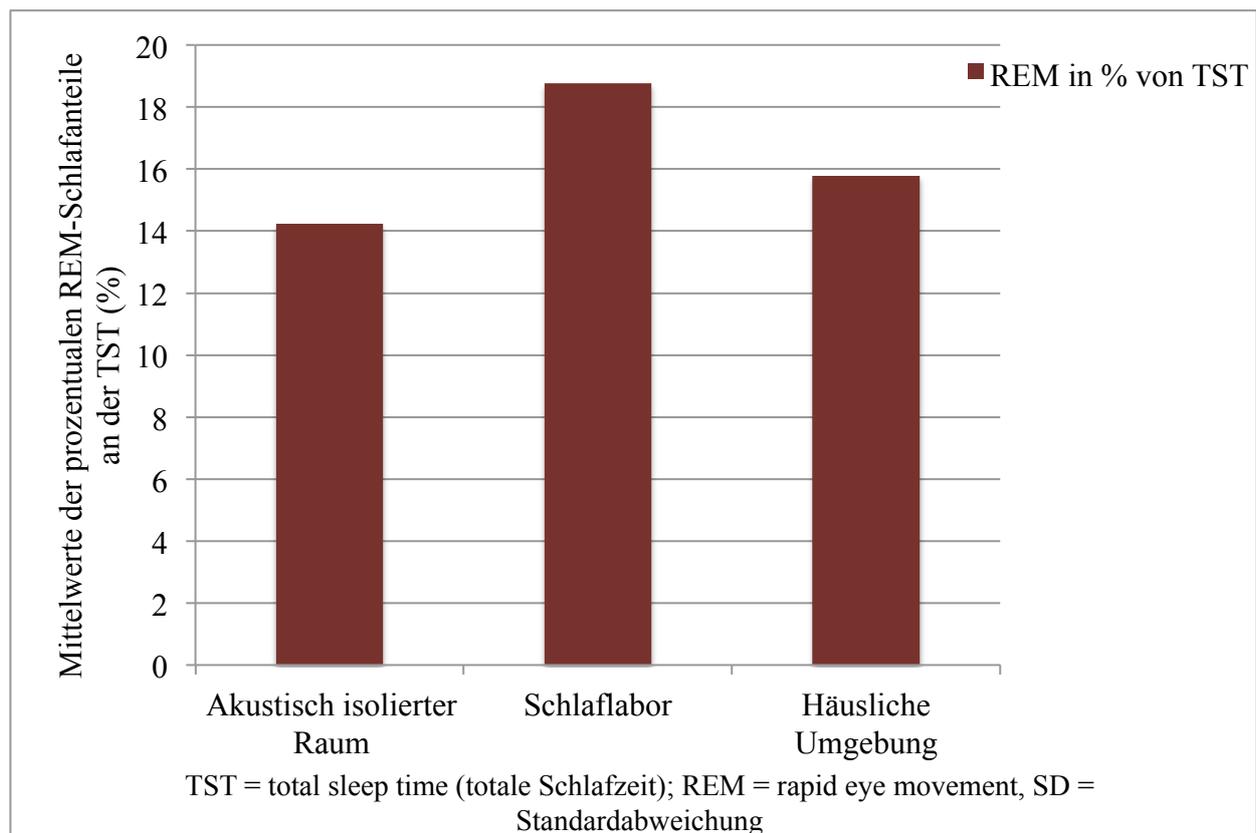


Abbildung 3-3: Säulendiagramm zur Darstellung des prozentualen REM-Schlafanteils an der totalen Schlafzeit (TST) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung

Abbildung 3-4 veranschaulicht deutliche Differenzen zwischen dem prozentualen Tiefschlafanteil (N3) der TST in den verschiedenen Settings. Im akustisch isolierten Raum haben die Probanden mit durchschnittlichen 35,81% (SD = 8,32) einen deutlich höheren Anteil der TST im Tiefschlaf verbracht, als in den beiden anderen Settings (zuhause 31,92 %, SD = 8,45/ Schlaflabor 28,30 %, SD = 6,94). Die Varianzanalyse mit Messwiederholung bestätigt, dass der Faktor „Untersuchungsort“ einen signifikanten Einfluss auf den prozentualen

Tiefschlafanteil (N3) der totalen Schlafzeit hat ($p = 0,000$). Der Faktor „Untersuchungsort“ klärt in dieser Analyse 40,6 % der Varianz des prozentualen N3-Schlafanteils auf ($\eta^2 = 0,406$).

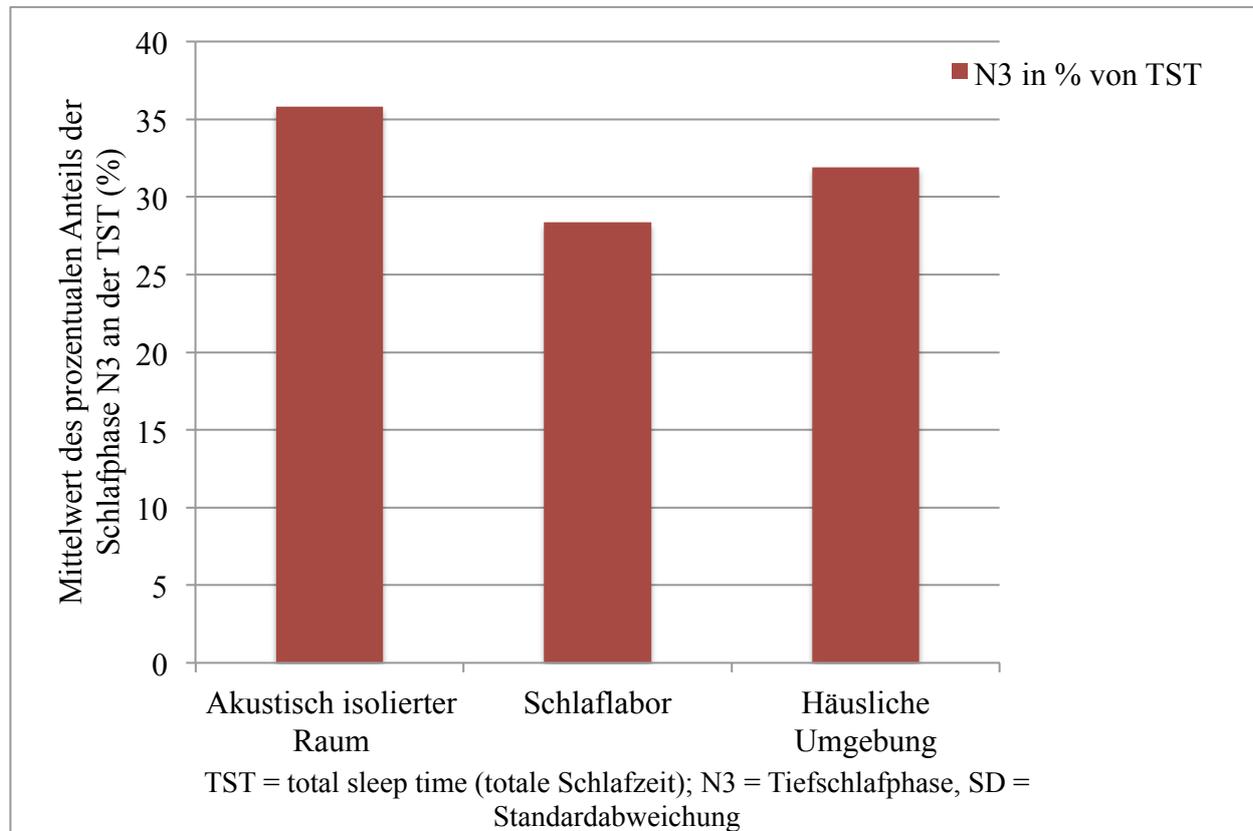


Abbildung 3-4: Säulendiagramm zur Darstellung des prozentualen N3-Schlafanteils an der totalen Schlafzeit (TST) im akustisch isolierten Raum, im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung

Die Unterschiede der Mittelwerte des prozentualen Tiefschlafanteils an der totalen Schlafzeit sind dabei zwischen allen Untersuchungsorten signifikant. In Tabelle 3-4 sind die Ergebnisse der Signifikanztests dargestellt.

Tabelle 3-4: Post Hoc Vergleich zwischen den prozentualen N3-Schlafanteilen der totalen Schlafzeit (Korrekturverfahren nach Bonferroni) mit Darstellung der Signifikanz der gemessenen Mittelwertsunterschiede im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung

| | Mittlere Differenz | Standardfehler | Signifikanz |
|-------------------|--------------------|----------------|-------------|
| N3* (S) – N3*(I) | -7,51 | 1,44 | 0,000 |
| N3* (S) – N3* (H) | -3,62 | 1,21 | 0,019 |
| N3* (I) – N3* (H) | 3,89 | 1,36 | 0,026 |

* in % von TST (totale Schlafzeit)

S = Schlaflabor

I = akustisch isolierter Raum

H = häusliche Umgebung

3.3.2 Latenzen zu den einzelnen Schlafphasen

Abbildung 3-5 zeigt die Latenzen zur Schlafphase N1 an den verschiedenen Untersuchungsorten. Mit 32 Minuten (SD = 30) ist sie im Schlaflabor deutlich länger als im akustisch isolierten Raum (21 Minuten, SD = 13) und in häuslicher Umgebung (19 Minuten, SD = 18). Hierbei handelt es sich jedoch nicht um statistisch signifikante Unterschiede.

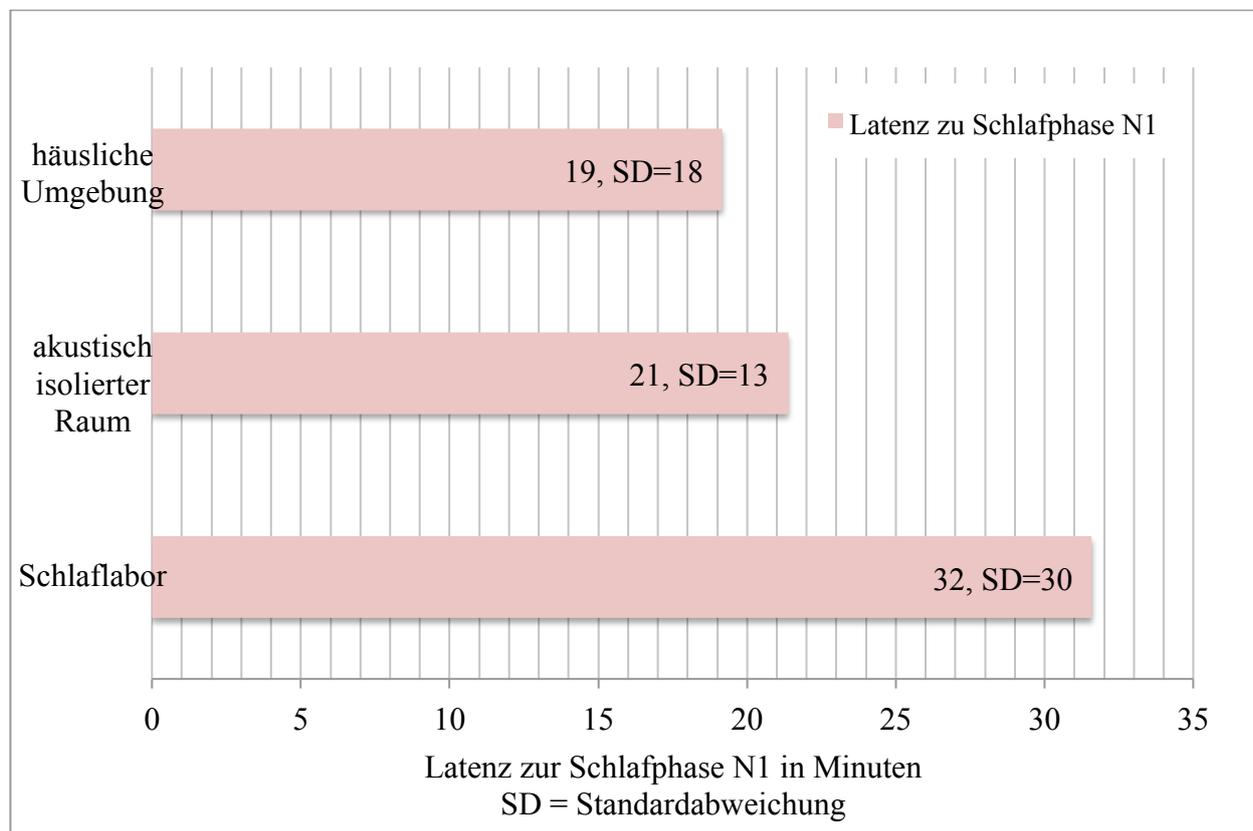


Abbildung 3-5: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N1 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung

Abbildung 3-6 stellt die Latenzen zur Schlafphase N2 an den drei Settings dar. Die Latenz zur Schlafphase N2 ist in häuslicher Umgebung mit 21 Minuten (SD = 19) am kürzesten, gefolgt von der Latenz zu N2 im akustisch isolierten Raum mit 24 Minuten (SD = 14). Nur minimal länger war als die Latenz zu N2 im Schlaflabor mit 25 Minuten (SD = 22).

Die gemessenen Unterschiede weisen keine statistische Signifikanz auf.

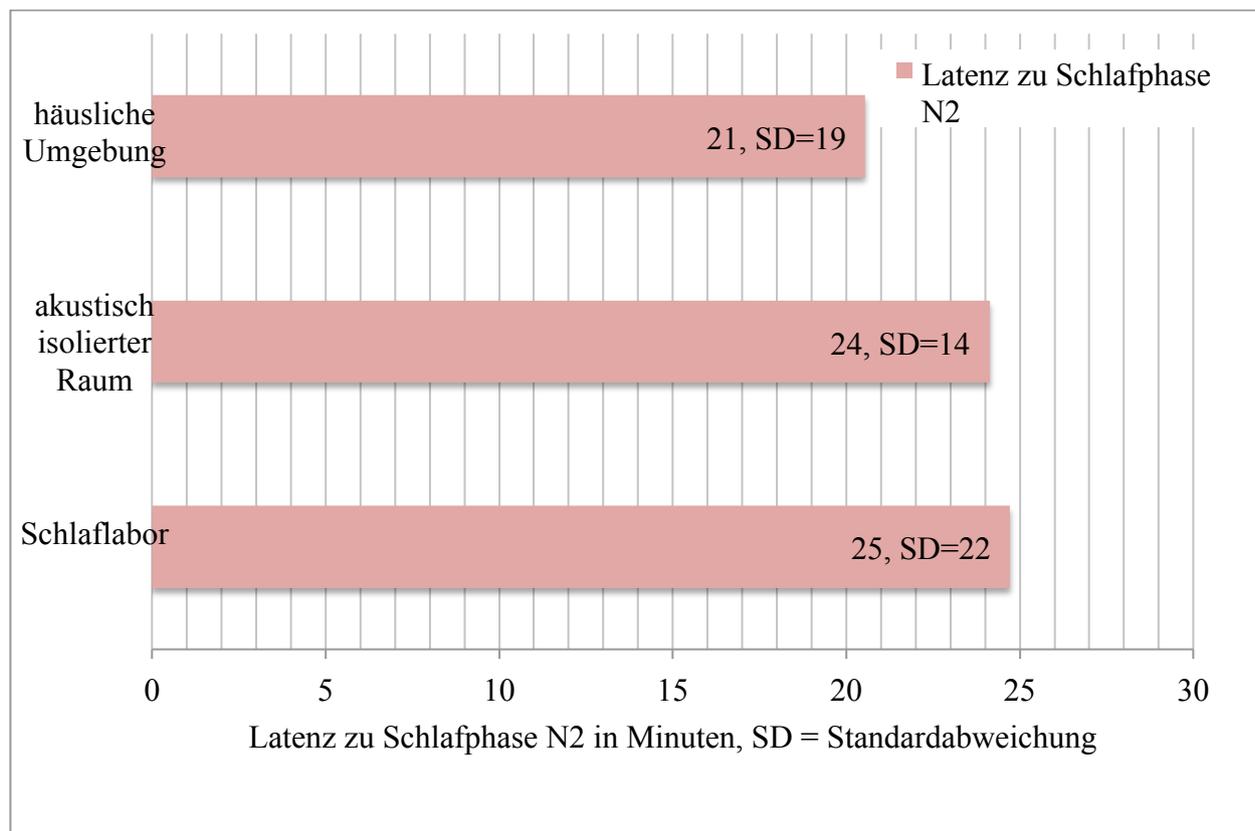


Abbildung 3-6: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N2 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung

In Abbildung 3-7 ist die Zeit, die bis zum Erreichen der Schlafphase N3 („Tiefschlafphase“) benötigt wurde graphisch dargestellt.

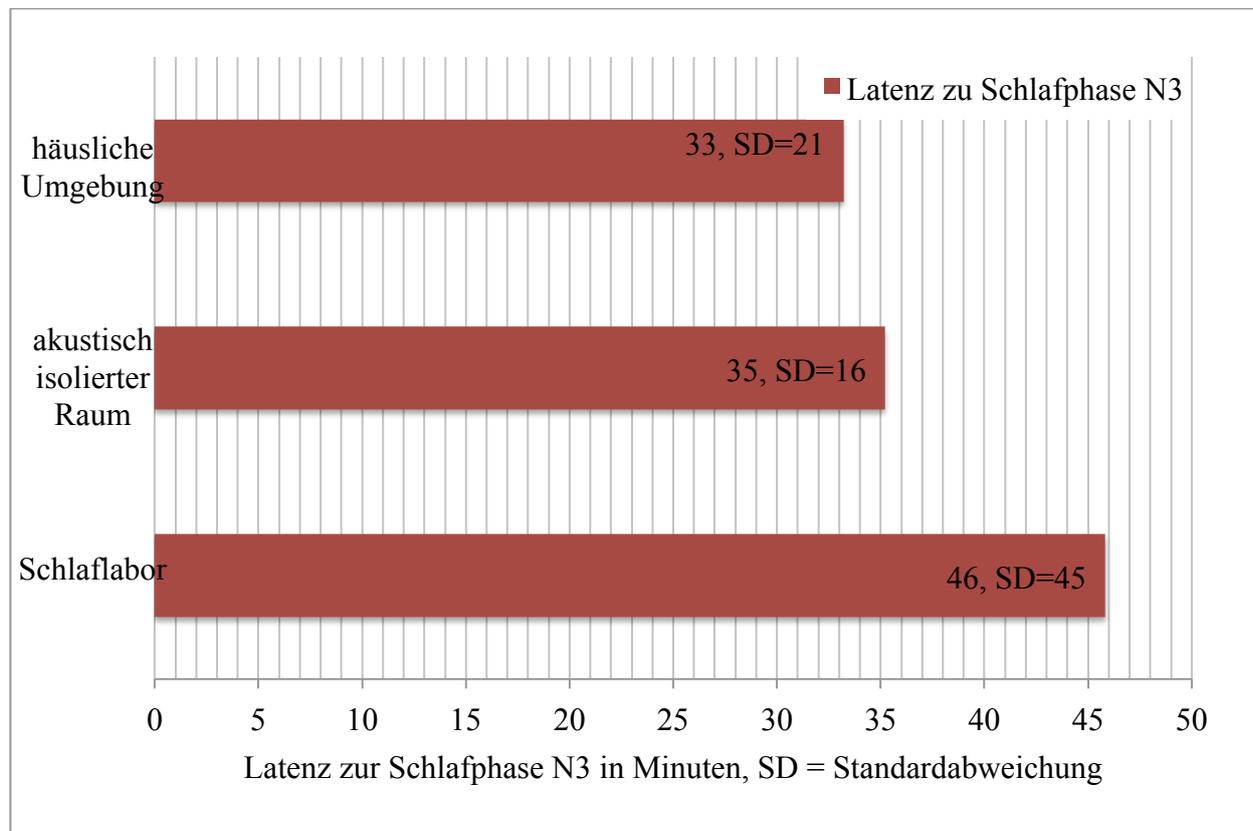


Abbildung 3-7: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur Schlafphase N3 in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung

Im Schlaflabor haben die Probanden mit durchschnittlichen 46 Minuten ($SD = 45$) am längsten gebraucht, um diese Schlafphase zu erreichen. Die Werte in der Hörkabine und zuhause unterschieden sich nicht so stark (Hörkabine: 35 Minuten, $SD = 16$, zuhause: 33 Minuten, $SD = 21$). Die gemessenen Unterschiede weisen keine statistische Signifikanz auf.

Abbildung 3-8 dient zur Darstellung der Latenzen zur REM-Schlafphase an den drei Untersuchungsstätten. Am längsten war die REM-Latenz mit 132 Minuten im akustisch isolierten Raum ($SD = 49$), gefolgt von der in häuslicher Umgebung gemessenen Latenz von 108 Minuten ($SD = 59$). Die kürzeste REM-Latenz wurde im Schlaflabor beobachtet. Hier brauchten die Probanden durchschnittlich 81 Minuten ($SD = 31$), um die REM-Schlafphase zu erreichen. Mit Hilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung konnte festgestellt werden, dass der Faktor „Untersuchungsort“ einen signifikanten Einfluss auf die REM-Latenz hatte ($p = 0,004$). Des Weiteren stellte sich die Differenz von 51 Minuten, die die Probanden im akustisch

isolierten Raum im Vergleich zum Schlaflabor länger benötigten, um die REM-Schlafphase zum ersten Mal innerhalb der Nacht zu erreichen, als statistisch signifikant heraus ($p = 0,001$).

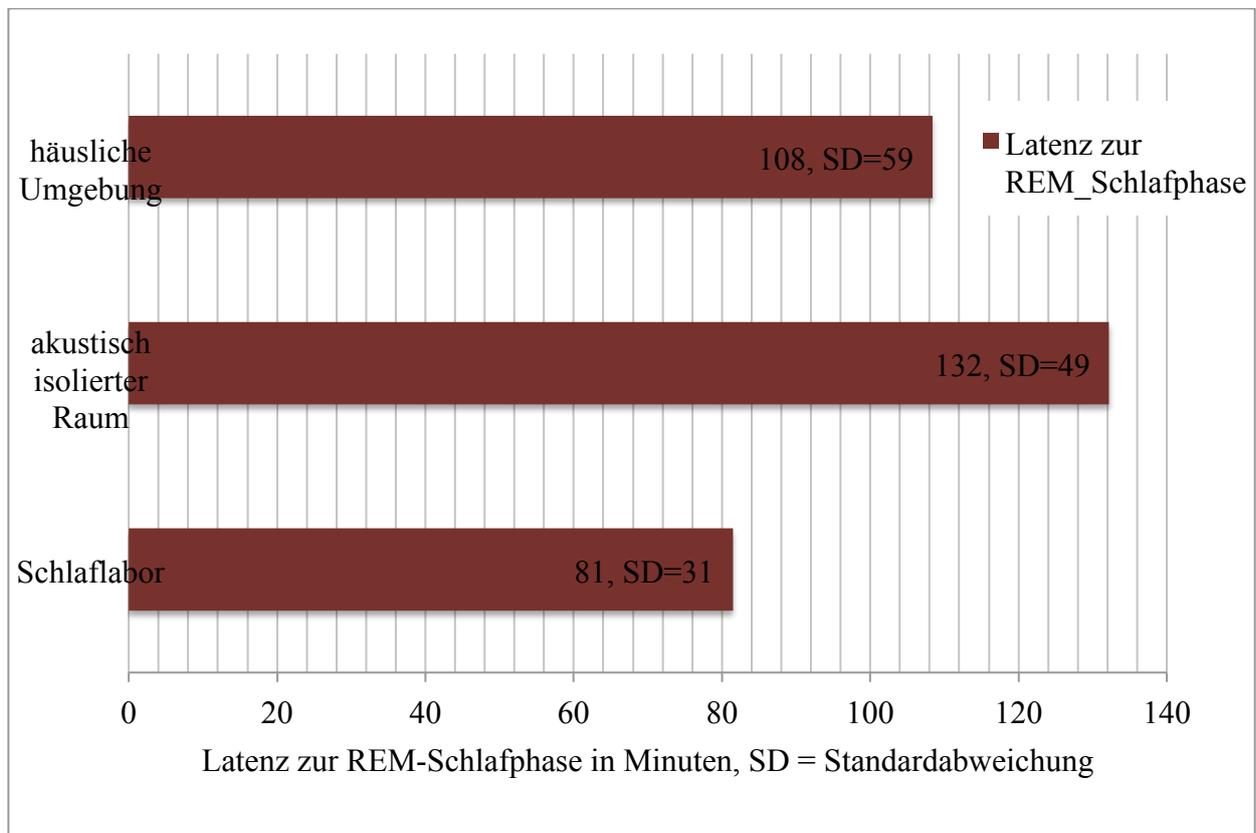


Abbildung 3-8: Balkendiagramm zur Darstellung der Latenz zur REM-Schlafphase in Minuten an den drei Untersuchungsorten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung

3.3.3 Weckreaktionen und Wachzeit nach Schlafbeginn

In Tabelle 3-5 sind die Anzahl der nächtlichen Weckreaktionen und die Wachzeit nach Schlafbeginn (WASO) im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und zuhause dargestellt. Der Einfluss des Untersuchungsortes auf die Anzahl der Weckreaktionen hat sich als signifikant herausgestellt ($p = 0,027$). Im akustisch isolierten Raum war die Anzahl der Weckreaktionen mit 11,96 ($SD = 4,97$) am niedrigsten. Dieser Wert unterscheidet sich sowohl von der mittleren Anzahl der Weckreaktionen zuhause 15,13 ($SD = 8,83$) signifikant ($p = 0,023$), als auch von der Anzahl der Weckreaktionen im Schlaflabor ($M = 15,54$, $SD = 7,87$). Auch dieses Ergebnis ist statistisch signifikant ($p = 0,011$).

Die Wachzeit nach Schlafbeginn in Minuten war entsprechend in den Nächten im akustisch isolierten Raum mit 17 Minuten ($SD = 12$) am kürzesten, die ermittelten Werte im Schlaflabor (21 Minuten, $SD = 14$) und in häuslicher Umgebung (22 Minuten, $SD = 24$) ähnelten sich, die Differenzen erwiesen sich jedoch nicht als statistisch signifikant.

Tabelle 3-5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Weckreaktionen und der WASO im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung

| | Anzahl der Weckreaktionen | | | WASO* in Minuten | |
|----------------------------------|---------------------------|------|-------|------------------|----|
| | Mittelwert | SD | p | Mittelwert | SD |
| Schlaflabor | 15,54 | 7,87 | 0,011 | 21 | 14 |
| Akustisch isolierter Raum | 11,96 | 4,97 | | 17 | 12 |
| Häusliche Umgebung | 15,13 | 8,83 | | 0,023 | 22 |

* WASO = wake after sleep onset (wach nach Schlafbeginn) in Minuten, SD = Standardabweichung, p = Signifikanz

3.4 Parameter der drei Untersuchungsorte

3.4.1 Nächtlicher Schallpegel (L_{Aeq60})

Abbildung 3-9 ist ein Boxplot zur Darstellung der nächtlichen Schallpegelwerte an den verschiedenen Untersuchungsorten. Der durchschnittliche Schallpegel in den Nächten im akustisch isolierten Raum lag bei 33,83 dB ($SD = 2,78$), im Schlaflabor bei 39,62 dB ($SD = 5,38$) und in häuslicher Umgebung bei 40,52 dB ($SD = 7,08$). Damit lag der Schallpegel im akustisch isolierten Raum im Durchschnitt 5,8 dB unter dem Wert im Schlaflabor und 6,7 dB unter dem Durchschnittswert in häuslicher Umgebung. Beide Differenzen sind statistisch hochsignifikant ($p = 0,000$). Vergleicht man diese Werte mit den in Tabelle 1-1 angegebenen Schallpegelwerten bekannter Schallquellen, ist die Lautstärke im akustisch isolierten Raum bei einer Lautstärke zwischen „flüstern“ und „Geräusch eines Zimmerventilators“ angesetzt. Im

Schlaflabor kommt der Schallpegel demjenigen nahe, der in Tabelle 1-1 als „Konzentrationsschwelle“ angegeben ist. Der ungefähre Äquivalentwert des in häuslicher Umgebung erfassten Schallpegelwerts liegt laut Tabelle 1-1 zwischen „Konzentrationsschwelle“ und „ruhiger Wohnung“.

Ebenfalls im Boxplot dargestellt ist der Median am jeweiligen Untersuchungsort (Schlaflabor = 37,2, Akustisch isolierter Raum = 32,7, häusliche Umgebung = 41,6). Als Ausreißer gelten diejenigen Werte, die innerhalb des 1,5fachen bis 3fachen Bereich der Boxenhöhe (gemessen entsprechend ab dem unteren oder dem oberen Boxende) liegen. In dem hier verwendeten Boxplot sind die Ausreißer nicht speziell gekennzeichnet und (wenn vorhanden) als Minimal- oder Maximalwerte eingezeichnet. Als „extreme Werte“ gelten diejenigen Werte, die außerhalb der dreifachen Boxenhöhe (gemessen ab Box Ende/Anfang) liegen. Sie sind in diesem Boxplot nicht dargestellt. Es wurden zwei „extreme Werte“ im Schlaflabor gemessen (51,5 dB und 55,7 dB) und einer im akustisch isolierten Raum (45,8 dB).

Im Boxplot fällt auf, dass der Minimalwert der Schallmessung im akustisch isolierten Raum (30,8 dB) zwar durch die im Schlaflabor (29,7 dB) und in häuslicher Umgebung (21,4 dB) ermittelten Minimalwerte unterschritten wurde, Minimum und Maximum liegen im akustisch isolierten Raum jedoch deutlich näher aneinander. Die „Box“, die die mittleren 50% der Fälle darstellt, ist im akustisch isolierten Raum deutlich schmaler, die gemessenen Schallpegel sind weniger Schwankungen ausgesetzt, als diejenigen der beiden anderen Untersuchungsstätten. Minimal- und Maximalwerte des nächtlichen Schallpegels an den verschiedenen Untersuchungsorten (unter Auslassung der „extremen Werte“) sind in Abbildung 3-10 aufgeführt.

* „Extreme Werte“ nicht dargestellt (51,5 dB und 55,7 dB)

** „Extreme Werte“ nicht dargestellt (45,8 dB)

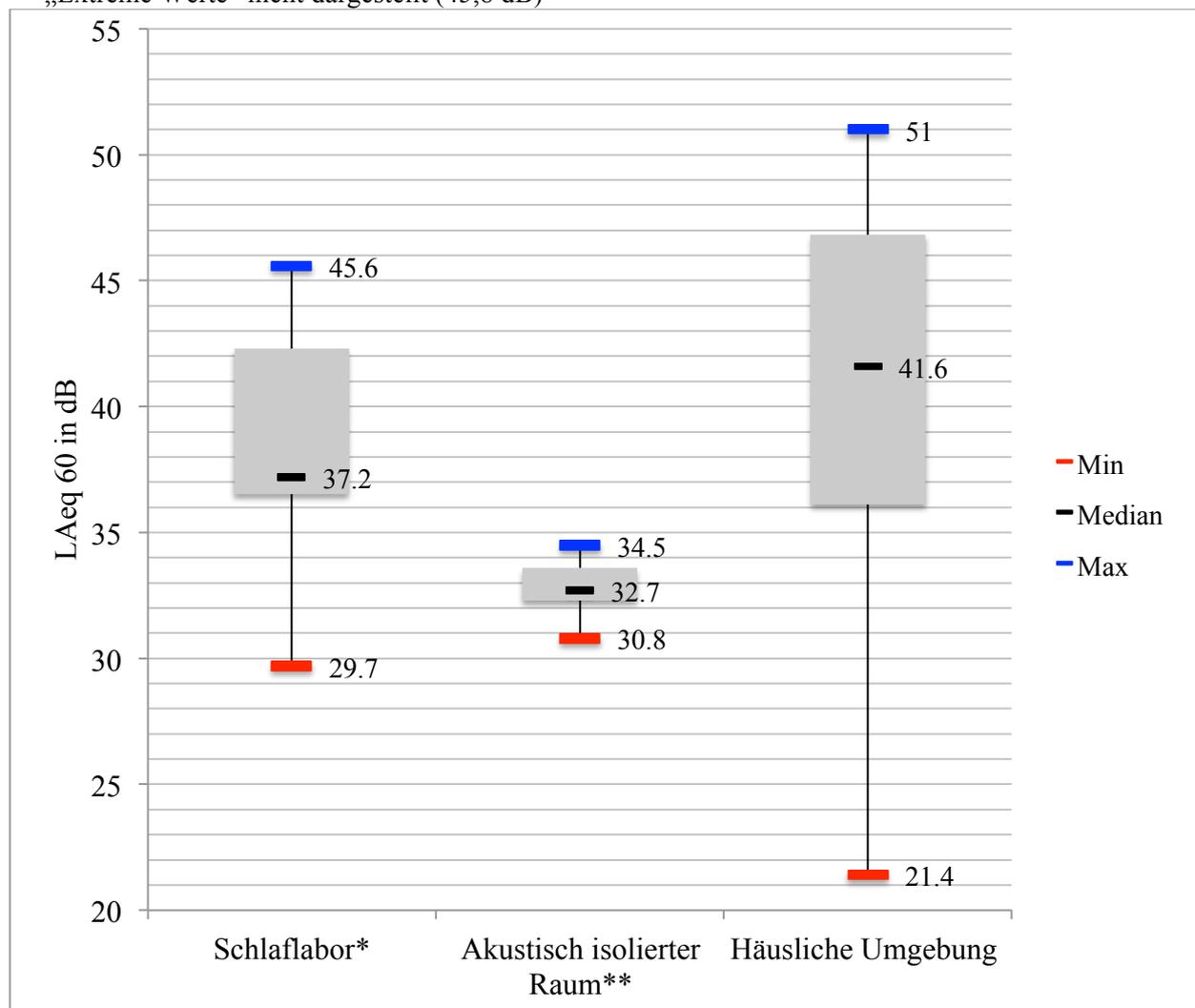


Abbildung 3-9: Boxplot zur Darstellung der Schallpegel (LAeq 60 in Dezibel) in den Untersuchungsstätten Schlaflabor, akustisch isolierter Raum und häusliche Umgebung. Darstellung des Interquartilabstandes, des Medians und der Minimal- und Maximalwerte (Einbezug der Ausreißer)

3.4.2 Nächtliche Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Die folgenden Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswerte, sind Mittelwerte, die sich aus den jeweils abends und morgens abgelesenen und über den Zeitraum der Nacht hinweg erfassten Maximal- und Minimalwerten ergeben. In Abbildung 3-10 sind diese graphisch dargestellt.

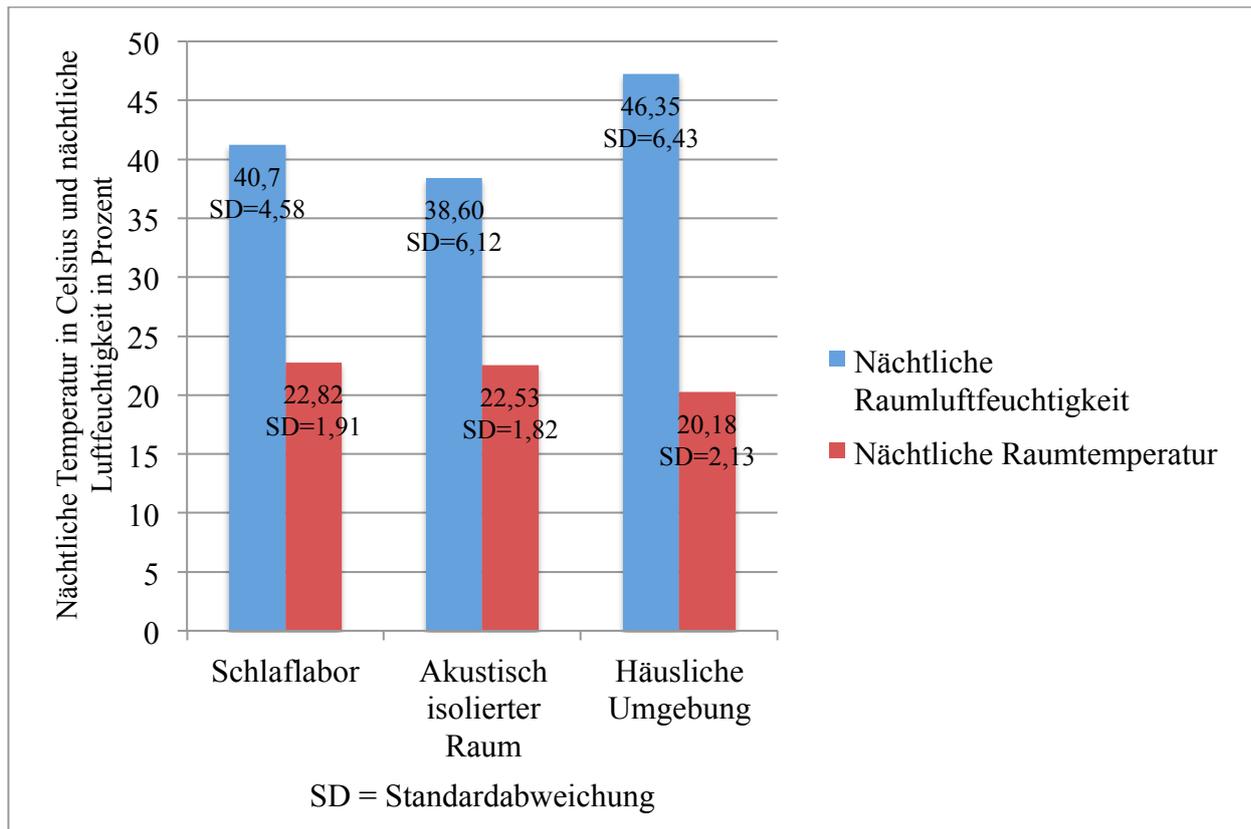


Abbildung 3-10: Darstellung der Mittelwerte der nächtlichen Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit im Schlaflabor, im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung

Die nächtliche Temperatur an den drei Untersuchungsorten unterschied sich nur geringfügig. Mit 20,18°C (SD = 2,13) war sie in häuslicher Umgebung etwas geringer als im Schlaflabor (22,82°C, SD = 1,91, $p = 0,000$) und akustisch isoliertem Raum (22,53°C, SD = 1,82, $p = 0,000$). Die mittlere Luftfeuchtigkeit im Schlaflabor war mit 40,7% (SD = 4,58) geringfügig höher als diejenige im akustisch isolierten Raum (38,60%, SD = 6,12) und etwas niedriger, als diejenige in häuslicher Umgebung (46,35%, SD = 6,43). Aus der Varianzanalyse wird ersichtlich, dass die Differenzen der Luftfeuchtigkeit und der Raumtemperatur im signifikanten Zusammenhang mit den Untersuchungsstätten stehen ($p = 0,000$). Dabei ist sowohl der gemessene Unterschied der Luftfeuchtigkeit zwischen häuslicher Umgebung und Schlaflabor ($p = 0,018$), als auch der Unterschied der Luftfeuchtigkeit zwischen häuslicher Umgebung und akustisch isoliertem Raum signifikant ($p = 0,001$).

4. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde das Schlafverhalten von 24 schlaf- und hörgesunden Probanden in drei unterschiedlich schallabgeschirmten Schlafstätten untersucht. Eine Nacht schliefen die Probanden in ihrem eigenen Zuhause, in dem es keine besonderen Schallschutzvorrichtungen gab. Eine weitere Nacht wurde in einem Forschungsschlaflabor geschlafen, dessen Zimmer eine andersartige Raumakustik aufwies (verminderte Halligkeit durch Raumelemente wie Teppich, außerdem Ausrichtung der Zimmer zum ruhigen Hinterhof). Als dritter Untersuchungsort diente eine Hörkabine, die unter normalen Umständen zur Durchführung von Hörtests genutzt wird und dementsprechend mit Schallschutzvorrichtungen ausgestattet ist. Ziel war es herauszufinden, ob die unterschiedlichen Konditionen der Schlafstätten die Schlafqualität beeinflussen.

Das wesentliche Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich die Verteilung der Schlafphasen im akustisch isolierten Raum signifikant von der Verteilung der Schlafphasen in den beiden anderen Settings unterscheidet. Bei gleichbleibender Schlafeffizienz, ist in einem akustisch isolierten Raum die Tiefschlafphase verlängert und die REM-Schlafphase verkürzt.

4.1 Diskussion der Methoden

Die Schlafparameter der 24 Probanden wurden in jeweils drei Nächten mittels der Methode der Polysomnographie erfasst. Die Polysomnographie gilt als Goldstandard unter den Schlafuntersuchungsmethoden. Die kontinuierliche Aufzeichnung vieler verschiedener Parameter ermöglicht die Beurteilung des individuellen Schlafes und ist für die Diagnose von verschiedenen Schlafstörungen unabdingbar³⁵.

Die Vor- und Nachteile der nicht überwachten, im Vergleich zur stationären Polysomnographie, sind ein in der Schlafmedizin viel diskutiertes Thema. Als klare Vorteile der nicht überwachten Untersuchung gelten der geringere Aufwand für das medizinische Personal und ein damit verbundener verminderter Kostenaufwand, die Unabhängigkeit von freien Betten im Schlaflabor und die Tatsache, dass die Untersuchung in der häuslichen Umgebung des Probanden stattfinden kann. Dies macht die Untersuchung für den Probanden meist angenehmer^{36,37}.

Nachteile wiederum sind, dass bei der nicht überwachten Messung meist weniger Ableitungskanäle zur Verfügung stehen, technische Probleme aufgrund der mangelnden Überwachung erst am nächsten Tag festgestellt werden können und das Verhalten während der Aufzeichnung nicht dokumentiert werden kann, da es keine Videoüberwachung gibt³⁸.

In dieser Studie fanden sowohl nicht überwachte (im akustisch isolierten Raum und in häuslicher Umgebung), als auch überwachte (im Schlaflabor) Messungen statt. Um oben genannte Aspekte

nicht zu Fehlerquellen werden zu lassen, wurden in den Nächten nicht überwachter und überwachter Polysomnographien stets äquivalente Ableitungskanäle verwendet.

Dadurch belief sich der einzige für die Probanden wahrnehmbare Unterschied zwischen den beiden Methoden, auf die unterschiedliche nächtliche Befestigung des Polysomnographie-Gerätes. Das portable Gerät wurde mittels eines Gurtes am Abdomen des Probanden zwischen Thorax- und Abdomen-Gurt befestigt, während das stationäre Gerät an einer Halterung an der Wand neben dem Bett befestigt werden konnte. Der morgendlichen Befragung zufolge, gab es bei keinem der Probanden eine Präferenz zu einem der beiden Geräte.

R. Broughtons oben genannte Feststellung, dass das Fehlen der nächtlichen Überwachung die frühzeitige Beseitigung von Fehlern unmöglich macht, hat sich auch in dieser Studie bestätigt. Von insgesamt 72 Untersuchungs Nächten mussten 3 Nächte aufgrund von nicht auswertbaren Aufzeichnungen (abgefallene Kabel, technische Fehler) wiederholt werden. Alle drei missglückten Aufzeichnungen entstammten der nicht überwachten Polysomnographie, also aus Nächten, in denen die Aufzeichnungen in häuslicher Umgebung oder im akustisch isolierten Raum stattfanden.

4.2 Diskussion der Studienbedingungen

Um trotz der unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen eine Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit zu gewährleisten, wurden in der vorliegenden Studie folgende Bedingungen erfüllt:

- a) Einschluss von männlichen und weiblichen Studienteilnehmern
- b) Randomisierung der Reihenfolge des Untersuchungsortes

Bei drei unterschiedlichen Untersuchungsorten, gibt es sechs verschiedene Möglichkeiten der Abfolge der Untersuchungsorte. Diese wurden regelmäßig und zufällig auf die männlichen und weiblichen Studienteilnehmer verteilt.

Die Randomisierung erfolgte zum Zweck der Vermeidung der Übertragung des “First-Night-Effekts” auf einen bestimmten, immer in der ersten Nacht verwendeten Untersuchungsort.

Dieses, in der Zwischenzeit wissenschaftlich anerkannte und durch mehrere Studien bestätigte Phänomen, kann in der ersten Nacht unter polysomnographischer Überwachung auftreten und hat eine Veränderung der Schlafarchitektur zur Folge, die im Vergleich mehrerer Nächte eines Probanden zur Verfälschung der Werte führen kann. Das Auftreten des “First-Night-Effekts” wurde sowohl bei der überwachten, als auch bei der nicht überwachten Polysomnographie beobachtet^{39,40}.

- c) Aufzeichnung in drei aufeinanderfolgenden Nächten

Ausnahme hierbei bildeten die drei, unter Verwendung der nicht überwachten Polysomnographie missglückten nächtlichen Aufzeichnungen, die in einer vierten Nacht wiederholt wurden. Da die Untersuchung an drei aufeinanderfolgenden Nächten lediglich dazu dienen sollte, nicht bei jeder Untersuchung erneut eine Gewöhnungsphase an das Polysomnographie-Gerät zu durchlaufen, ist davon auszugehen, dass das dreimalige Vorkommen einer vierten Untersuchungsnacht keinen Einfluss auf die Messergebnisse hat.

d) Gleichbleibende Bettgezeit (ca. zwischen 23.00h und 00.30h)

Um eine gute Vergleichbarkeit der nächtlichen Aufzeichnungen des Schlafes zu gewährleisten, sollte die Bettgezeit der Probanden innerhalb des oben genannten Zeitrahmens bleiben. Die Bettgezeit eines jeden Probanden innerhalb seiner drei Untersuchungs Nächte sollte um nicht mehr als eine Stunde variieren. Dies gelang bei allen bis auf zwei Probanden, bei denen es technisch bedingt in einer Nacht zu einer Verzögerung der Bettgezeit um ca. 50 bzw. 25 Minuten kam.

e) Aufzeichnungszeit zwischen 6 und 8 Stunden

f) Die Aufzeichnungen fanden ausschließlich in Nächten statt, denen ein Arbeitstag folgt.

Dass sich das Schlafverhalten an Wochentagen im Vergleich zu Wochenenden von einander unterscheidet, wurde in mehreren Studien, die diese Beobachtung unter verschiedenen Aspekten untersucht haben, belegt⁴¹⁻⁴³. Zur Vermeidung der Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedliches Schlafverhalten am Wochenende und an Wochentagen, wurden die Untersuchungen in dieser Studie ausschließlich in Nächten zwischen Sonntag und Donnerstag durchgeführt.

Zu den nicht vermeidbaren Unterschieden der verschiedenen Schlafstätten, zählen die variierenden Zimmergrößen. Durch die Verwendung desselben Zimmers im Schlaflabor (12 qm², Deckenhöhe ca. 2,75 m) und im akustisch isolierten Raum (10qm², Deckenhöhe 2,10 m), konnte hier eine Konstanz erreicht werden. In der Untersuchungsnacht in häuslicher Umgebung gab es jedoch Differenzen in den Zimmergrößen. Die Räume waren im Durchschnitt mit 18qm² größer als die der beiden anderen Untersuchungsstätten. 23 von 24 der heimischen Schlafzimmer befanden sich in Altbauten, deren Deckenhöhe im Durchschnitt

3,30 m beträgt. Durch die unterschiedliche Ausbreitung von Schallwellen, kann es in großen Zimmern zu einem anderen Klangbild kommen als in kleineren Räumen.

Coble et al. stellten schon frühzeitig in einer Studie fest, dass die Anpassungsreaktionen von Probanden auf eine ungewohnte Umgebung (Schlaflabor) geringer ausfallen, wenn das Schlaflabor angenehmer und "hotel-ähnlicher" gestaltet ist und weniger einer Krankenhausumgebung ähnelt⁴⁴. Das in der vorliegenden Studie genutzte Schlaflabor entspricht

dieser Beschreibung und lässt damit erwarten, dass der Einfluss der “fremden Umgebung” auf ein Minimum reduziert wird.

4.3 Diskussion der Ergebnisse einzelner Parameter

4.3.1 Schlaffeffizienz

Die Schlaffeffizienzen haben sich in den verschiedenen Schlafstätten nicht signifikant unterschieden. Dies ist ein unerwartetes Ergebnis, da die Schlaffeffizienz ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Schlafqualität ist und Geräusche als Einflussfaktor auf die Schlafqualität gelten. Gegenstand vieler Untersuchungen ist der Einfluss von lauten Geräuschen bzw. Lärm auf den Schlaf. Die Ergebnisse des Großteils dieser Studien beschreiben eine Abnahme der Schlaffeffizienz unter dem Einfluss nächtlicher Verkehrsgeräusche. So auch die Studie von B. Saletu, in der gesunde Studienteilnehmer verschiedener Altersgruppen unter simuliertem, nächtlichen Verkehrslärm, eine verminderte Schlaffeffizienz im Vergleich zur gewohnten Schlaffeffizienz aufweisen. Andersherum ist die Schlaffeffizienz unter ruhigeren Bedingungen erhöht⁴⁵. Im Gegensatz zum vielseitig untersuchten Einfluss von Lärm auf den Schlaf, ist das Schlafverhalten unter einer Geräuschreduktion unter das „normale“, nicht durch Lärm beeinträchtigte Level, wenig untersucht.

Einige Studien stellten eine Verbesserung der Schlafqualität unter der Verwendung von Ohrstöpseln während der Nacht fest. So zum Beispiel in einer chinesischen Studie aus dem Jahr 1998 in der drei Versuchsgruppen, die entweder in einer ruhigen Umgebung (unter 45 dB (A)), einer lauten Umgebung (95 dB (A)) oder der lauten Umgebung mit Ohrstöpseln ausgesetzt waren⁴⁶. Außerdem wurde die Verwendung von Ohrstöpseln für Patienten, die in der lauten Umgebung einer Intensivstation untergebracht sind, als kostengünstige und schlaffördernde Maßnahme erklärt⁴⁷.

Wenn man die Verwendung von Ohrstöpseln in Hinsicht auf eine Schallabschirmung mit dem Schlafen in akustisch abgeschirmter Umgebung vergleicht, kann in Bezug auf die Schlafqualität unter Betrachtung der Schlaffeffizienz keine Übereinstimmung gefunden werden.

Dies könnte daran liegen, dass herkömmliche, in der Drogerie erhältliche Ohrstöpsel der Marke Ohropax z.B. die Umgebungslautstärke um die 30-35 dB reduzieren. Bei einem Umgebungsschallpegel von 95 dB, der bei der chinesischen Studie gemessen wurde, würde dies immer noch eine Schallbelastung von 60-65 dB und somit eine fast doppelt so laute Umgebung wie diejenige in dem, in dieser Studie verwendeten akustisch isolierten Raum, darstellen.

Den Schlaf junger und gesunder Probanden dieser Studie mit dem Schlaf von Patienten einer Intensivstation zu vergleichen, ist ebenfalls schwierig, da das Schlafverhalten von intensivpflichtigen Patienten häufig pathologische Muster, wie einen abnormen zirkadianen Rhythmus, verkürzte REM- und Tiefschlafphasen und einen erhöhten Aufwachindex aufweist⁴⁸. Unsere Probanden hingegen waren gesunde, nicht auffällig sensible oder schlafgestörte, junge Menschen.

Ein weiterer Grund für die gleichbleibende Schlafeffizienz in den drei Schlafstätten dieser Studie könnte die, für Schlafstudien relativ späte, Bettgehzeit von nach 23.00h sein, die möglicherweise mit einer erhöhten Müdigkeit und deshalb allgemein verringerter Einschlafzeit einhergeht.

4.3.2 Prozentuale Verteilung der Schlafphasen

In der Verteilung der prozentualen Anteile der Schlafphasen der totalen Schlafzeit gab es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den polysomnographisch erfassten Schlafprofilen an den verschiedenen Untersuchungsorten.

4.3.3 Abnahme des REM-Schlafanteils in schallreduzierter Umgebung

Beim Schlafen in akustisch isolierter Umgebung, zeigt sich ein reduzierter prozentualer REM-Schlafanteil der totalen Schlafzeit. Diese Verminderung von REM-Schlaf in schallabgeschirmter Umgebung widerspricht der 1999 in einer Studie gezogenen Schlussfolgerung, dass die Aufrechterhaltung der REM-Schlafdauer eine ruhige Umgebung erfordert. In der Studie wurde ebenfalls ermittelt, dass die Lärmschwelle, die zur Veränderung der REM-Schlafdauer führt, höher ist als diejenige, die eine abweichende Tief- und Schlafphase 2 zur Folge hat⁴⁹.

In weiteren Studien, in denen der REM-Schlafanteil der totalen Schlafzeit unter der Einwirkung verschiedener Geräusch- und Lärmquellen gemessen wurde, war als gemeinschaftliches Ergebnis eine Verkürzung der REM-Schlafphase erkennbar. So stellte K Hecht 1997 zum Beispiel eine Verkürzung des REM-Schlafes schon bei kontinuierlichem Lärm von über 35 dB (A) fest¹¹. Genauso ist man bei einem Review von 1995 über die Auswirkungen von Verkehrslärm auf den Schlaf zu dem Schluss gekommen, dass der REM-Schlafanteil unter Einwirkung von Verkehrslärm herabgesetzt wird. Es gibt jedoch keine Veränderung in der Wahrscheinlichkeit des Wechsels aus dem REM-Schlaf, wenn dieser erst einmal erreicht wurde, in eine andere Schlafphase oder das Aufwachen aus der REM-Schlafphase⁵⁰.

Aus Sicht dieser Ergebnisse, ist unter den Umständen einer schallreduzierten Umgebung, wie sie im Falle der hier vorliegenden Studie gegeben ist, eine Konstanz, wenn nicht sogar eine Verlängerung des REM-Schlafes zu erwarten.

Betrachtet man die vielseitigen Theorien über die Funktion des REM-Schlafes, findet man unterschiedlichste Thesen, was darauf hinweist, dass die tatsächliche Funktion dieser Schlafphase noch nicht restlos geklärt ist. Neben der Annahme, dass die erhöhte Reaktionsfähigkeit auf externe Reize, wie zum Beispiel auf Warnsignale, während des REM-Schlafes in der Evolution einen Selektionsvorteil gehabt haben könnte⁵¹, ist der Einfluss des REM-Schlafes auf die Informationsverarbeitung und Gedächtniskonsolidierung vielseitig untersucht. REM-Schlafentzug soll einen verminderten Gedächtnisabruf zur Folge haben, konnte aber in Humanexperimenten nicht ausreichend konstant nachgewiesen werden⁵². In einer anderen Studie konnte sogar unter Verwendung eines REM-Schlaf-reduzierenden Antidepressivums und daraus folgendem REM-Schlafmangel das Gegenteil, weder ein negativer Einfluss auf die Gedächtnisleistung noch auf die Befindlichkeit, sondern sogar eine gesteigerte Leistungsfähigkeit beobachtet werden⁵¹. Andere Studien wiederum führten zu dem Ergebnis, dass REM-Schlafdeprivation zwar zum Nachholen des REM-Schlafes nach Beendigung der Deprivationsphase führt, sie jedoch keine offensichtlichen Verhaltensänderungen mit sich bringt⁵³.

Wieder andere Quellen sprechen davon, dass als „Nebenwirkungen“ von induziertem REM-Schlafentzug häufig emotionale Veränderungen wie erhöhte Irritier- und Erregbarkeit und verstärktes Stressempfinden auftreten⁵². Von diesen „Nebenwirkungen“ berichteten die Probanden der hier vorliegenden Studie weder am Tag nach der Nacht im akustisch isolierten Raum (nach vermeintlichem REM-Schlafmangel), noch an anderen Tagen nach den nächtlichen Untersuchungen.

Ein Grund für das nicht Übereinstimmen der in dieser Arbeit ermittelten, den REM-Schlaf betreffenden Ergebnisse mit der aktuellen Literatur, könnte sein, dass Schlaf unter schallreduzierten Bedingungen, ein bisher recht wenig beforschtes Gebiet der Schlafmedizin darstellt und es an Vergleichsmöglichkeiten mangelt. Ob die Verminderung des REM-Schlafanteils unter akustisch isolierten Bedingungen langfristig überhaupt oder sogar negative Auswirkungen mit sich bringt, kann mit dieser Studie nicht endgültig geklärt werden. Eine weitere mögliche und in diesem Fall sehr wahrscheinliche Erklärung ist die Verkürzung der REM-Schlafphase zu Gunsten der Tiefschlafphase, auf welche im folgenden Absatz näher eingegangen wird.

4.3.4 Erhöhung des prozentualen Tiefschlafanteils in schallreduzierter Umgebung

Der prozentuale Tiefschlafanteil (N3) an der totalen Schlafzeit, zeigte im akustisch isolierten Raum signifikant höhere Werte, als in den beiden anderen Schlafstätten dieser Studie. Bei einer durchschnittlichen totalen Schlafzeit von 6 Stunden und 43 Minuten ergeben die in Minuten umgerechneten prozentualen Anteile der Tiefschlafzeit an der Gesamtschlafzeit folgende Werte: In den Nächten im akustisch isolierten Raum verbrachten die Probanden durchschnittlich ca. 30 Minuten länger im Tiefschlaf als im Schlaflabor und ca. 16 Minuten länger als in häuslicher Umgebung.

Tiefschlaf ist nach der Klassifikation des Schlafes von Rechtschaffen und Kales von 1968 als derjenige Anteil des Schlafes definiert, der nach ihren Kriterien den Schlafphasen S3 und S4 zugeordnet wird. Nach neueren Kriterien zur Schlafklassifikation der American Academy of Sleep Medicine (2007) sind diese zur Schlafphase N3 zusammengefasst²⁹.

Tiefschlaf gilt als lebenswichtige, „energiesparende Ruhephase“ des Körpers, die mit der Abnahme von Herz- und Atemfrequenz, Körpertemperatur und Metabolismus einhergeht⁵¹.

Wie wichtig der Tiefschlaf für die Funktion des Menschen ist, kann anhand von Schlafentzugsexperimenten gut nachvollzogen werden, als deren Folgen häufig erhöhte Tagesschläfrigkeit und Leistungsminderung beschrieben werden. Rückschließend wird dem Tiefschlaf ein hoher Stellenwert in der Beisteuerung zu nächtlichen Erholungsprozessen zugeschrieben⁵⁴. Der Verlust von Konzentrationsfähigkeit kann fatale Folgen wie Verkehrs- und Arbeitsunfälle nach sich ziehen.

Eine wichtige Ursache für die Verminderung von Tiefschlaf, die nicht experimentellen Ursprungs ist, ist die nächtliche Einwirkung von Lärm. Es ist wissenschaftlich belegt, dass nächtliche, sowohl wiederholte, als auch lang anhaltende, laute Schallreize zur Verkürzung der Tiefschlafphase (N3) führen¹⁴. Dies wird unter anderem durch die lärminduzierte Erhöhung der Arousal-Rate erklärt⁵⁵. In einer 2005 veröffentlichten Studie, die die Veränderung der Schlafstruktur von 128 Versuchspersonen unter dem Einfluss nächtlicher Schallpegel zwischen 45 und 80 dB (gesammelte Daten aus dem Zeitraum von 1999-2003) untersuchte, konnte ebenfalls eine signifikante Verminderung von Tiefschlaf unter Lärmeinfluss festgestellt werden⁵⁶.

Dass eine Reduzierung der nächtlichen Lautstärke diese Tiefschlafverkürzung verhindern würde, wird in zahlreichen Studien postuliert. So konnte zum Beispiel in einer Studie, deren Probanden nächtlichem Verkehrslärm ausgesetzt waren, durch eine Geräusch-Reduktion um nur durchschnittliche 5,6 dB (A) bereits eine Verlängerung des Tiefschlafes und Verbesserung der subjektiven Schlafqualität erzielt werden⁵⁷. Diese Annahme gilt noch heute und wird in einem

Review über 12 Studien, deren gemeinsames Endergebnis ein negativer Zusammenhang zwischen nächtlichem Lärm (in diesem Fall Fluglärm) und Tiefschlaf ist, bestätigt⁵⁸. Jedoch scheint die Wirkung einer Schallreduktion nicht nur von der Anzahl der reduzierten Dezibel abzuhängen, auch die Ausgangslautstärke spielt eine Rolle. So konnte in einer Studie von 1977 die Reduktion von Flugzeuglärm um 15 dB weder den Tiefschlaf beeinflussen, noch die subjektive Schlafqualität verbessern⁵⁹. Damit übereinstimmend sind auch die Ergebnisse einer aktuelleren Studie (2005), in der eine klare Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Anzahl der Lärmereignisse und Lautstärke der Lärmereignisse einerseits und der Verlängerung bzw. der Verkürzung des Tiefschlafanteils andererseits hervorgeht⁵⁶.

Dass eine starke Reduktion des nächtlichen Schallpegels und eine verminderte Halligkeit den prozentualen Anteil von Tiefschlaf und damit die Erholbarkeit des Schlafes bei jungen, schlaf- und hörgesunden Personen deutlich und signifikant erhöht, konnte in der hier vorliegenden Studie bewiesen werden.

Wenn man die prozentuale Verteilung der Schlafphasen an den unterschiedlichen Schlafstätten dieser Studie in der Gesamtheit betrachtet und dabei davon ausgeht, dass die in heimischer Umgebung erfassten Werte als „Normalwerte“ gelten, fällt auf, dass die Schlafphasen N1 und N2 in den beiden anderen Umgebungen nahezu unverändert bleiben. Dies ist interessant, da die Einwirkung von Lärm bekanntermaßen die Tiefschlaf- und REM-Schlafphase zu Gunsten der Leichtschlafphasen verkürzt. Der leichte Schlaf wird also verlängert, während REM- und Tiefschlaf verkürzt werden⁶⁰. Geht man nun davon aus, dass eine Senkung der Umgebungslautstärke unter den „Normalbereich“ der häuslichen Umgebung das Gegenteil, also eine Reduktion der Leichtschlafphasen (N1, N2) zu Gunsten des REM- und des Tiefschlafes zur Folge haben würde, so zeigen die Ergebnisse dieser Studie eine Abweichung. In der schallreduzierten Umgebung der Hörkabine verbrachten die Probanden zwar im Durchschnitt 3,89% mehr Zeit in der Tiefschlafphase, als in den Nächten in häuslicher Umgebung, allerdings ging dies nicht nur mit der relativ geringen Reduktion der Schlafphase N1 um ca. 1,65% und Schlafphase N2 um ca. 0,65%, sondern auch einer Reduktion der REM-Phase um 1,55 % einher. Die Wichtigkeit der Tiefschlafphase für die regenerierende Funktion des Schlafes, wurde durch vielzählige Experimente bewiesen, in denen beobachtet wurde, dass der Tiefschlafanteil nach Schlafdeprivation in der darauffolgenden Nacht stark ansteigt. Außerdem werden dem Tiefschlaf Funktionen wie Gedächtniskonsultierung und Wachstumshormonausschüttung zugeschrieben^{55,61,62}. Auch J Horne hebt die erholungsfördernde Funktion des Tiefschlafes, besonders im Vergleich zum REM-Schlaf hervor⁶³. In einer weiteren Studie wurde die subjektive Wahrnehmung der Probanden bezüglich des Schlafes mit den objektiven Ergebnissen der

Polysomnographie verglichen. Der prozentuale Anteil des Tiefschlafes an der totalen Schlafzeit korrelierte positiv mit der subjektiv wahrgenommenen Schlafqualität, der Leichtigkeit einzuschlafen und des Erlebens eines ruhigen Schlafes⁶⁴.

Eine schall- und halligkeitsreduzierte Umgebung scheint diesen essentiellen Anteil des Schlafes zu erhöhen. Eine mögliche Erklärung dafür liegt in der signifikant niedrigeren Anzahl der aufgetretenen Weckreaktionen in den Nächten im akustisch isolierten Raum.

4.3.5 Latenzen zu den einzelnen Schlafphasen in schallreduzierter Umgebung

Die Schlafphasenlatenz ist als diejenige Zeit definiert, die benötigt wird, um eine Schlafphase (die sich über mindestens 20 30-sekündige Epochen, also 10 Minuten) erstreckt, zum ersten Mal unter polysomnographischer Überwachung zu erreichen. Bei den Ergebnissen dieser Arbeit ist besonders die signifikant erhöhte REM-Schlaflatenz im akustisch isolierten Raum hervorzuheben. Im Vergleich dazu war die REM-Schlaflatenz im Schlaflabor signifikant kürzer, während in den Nächten in häuslicher Umgebung keine signifikante Veränderung nachgewiesen werden konnte.

C. Maschke stellte fest, dass es unter dem nächtlichen Einfluss von Verkehrslärm zur Verlängerung der Latenzzeiten kommt. Dies gelte für die Latenzen zu allen Schlafphasen, besonders wird jedoch die Verlängerung der Einschlaflatenz hervorgehoben. Als Einschlaflatenz ist in dieser Arbeit diejenige Zeit bezeichnet, die benötigt wird, um eine der Schlafphasen zu erreichen, die dann mindestens 10 Minuten beibehalten werden muss. Dies muss nicht zwingend Schlafphase N1 sein.

In der Arbeit von C. Maschke werden außerdem Schwellen, ab denen die Latenzen sich verändern genannt. Unter kontinuierlichem Lärmeinfluss von $L_{Aeq} = 45 \text{ dB(A)}$ kommt es zur Verlängerung der Einschlaflatenz. Zur Verlängerung der Tiefschlaflatenz und einer Tendenz zur Verlängerung der REM-Latenz kommt es bereits bei $L_{Aeq} = 36 \text{ dB(A)}$ ¹⁴. Da im Setting des akustisch isolierten Raumes Lautstärkepegel unter 36 dB(A) vorlagen, wäre zu erwarten gewesen, dass die REM-Latenz gegenüber den REM-Latenzen aus den beiden anderen Settings, verkürzt ist. Dies ist jedoch nicht der Fall. Vermutlich liegt die Ursache dafür in dem im akustisch isolierten Raum aufgetretenen, verlängerten Tiefschlafanteil, der eine Verzögerung des Eintritts in die REM-Schlafphase zur Folge hat und damit die REM-Latenz verlängert. Inwiefern die REM-Latenz die Schlafqualität beeinflusst ist noch nicht gänzlich erforscht, Mendelson und Hoch postulieren jedoch einen Zusammenhang zwischen REM-Latenz und morgendlicher Wachheit und subjektiver Schlaftiefe^{65,66}. Aus aktuelleren Quellen ist im Zusammenhang mit

der REM-Latenz lediglich die Verkürzung derselben in Assoziation mit Depressionen wissenschaftlich anerkannt ⁶⁷.

Die Einschlafatenz wird häufig als Kriterium der Bewertung der Schlafqualität verwendet. So auch in einer Studie, die objektiv, also polysomnographisch erfasste Schlafparameter mit der subjektiven Einschätzung des Schlafes vergleicht. In der Studie ist die Einschlafatenz negativ mit der subjektiven Schlafqualität, der Leichtigkeit einzuschlafen und der Bewertung des Schlafes als „ruhiger Schlaf“, korreliert. Umso länger die Einschlafatenz, desto geringer also die Schlafqualität, umso schwerer erscheint es einschlafen zu können und als umso unruhiger wird der Schlaf empfunden.

Unter den vorherrschenden Bedingungen der drei Schlafstätten dieser Studie, konnten keine signifikanten Unterschiede in der Einschlafatenz gefunden werden. Nach diesem Kriterium der Schlafqualität gibt es an den drei Untersuchungsorten also keine Unterschiede bezüglich der Schlafqualität (dieses Ergebnis entspricht der Unveränderlichkeit der Schlafeffizienz an den verschiedenen Untersuchungsorten).

4.3.6 Weckreaktionen und WASO in schallreduzierter Umgebung

Als Weckreaktion wird eine abrupte Änderung des Schlaf-EEG, mit einer Dauer von über 10 Sekunden, die entweder im Zusammenhang mit einem respiratorischen Ereignis oder Zusammenhang mit (periodischen) Beinbewegungen steht oder durch eine unbekannte Ursache ausgelöst wird, die entweder spontan auftritt oder auf Umstände der Umgebung, wie Geräusche, Licht oder Temperaturveränderungen zurückzuführen ist, bezeichnet.

Die Funktion des Schlafes, für psychische Erholung einerseits und Energiespeicherung andererseits zu sorgen, ist an die Schlafstadien und deren zyklischen Ablauf gebunden. Eine häufige Unterbrechung dieser Schlafstruktur, muss als gesundheitlich bedenklich eingestuft werden ¹⁴. Als Störung dieser Struktur zählen auch die Weckreaktionen. Sind diese lärmbedingt, müssen sie als Gesundheitsrisiko eingeschätzt werden, da sie mit einer Erhöhung der Herzfrequenz einhergehen und damit das Risiko für Bluthochdruck und damit assoziierten kardiovaskulären Erkrankungen steigern ⁶⁸⁻⁷⁰.

In der hier vorliegenden Studie ist die Anzahl der Weckreaktionen in den Nächten in schallreduzierter Umgebung signifikant niedriger als in den Nächten im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung gewesen. Da bei intermittierendem Lärm ab einer Schwelle von 45 dB (A) bereits Aufwachreaktionen induziert werden ¹⁴, ist davon auszugehen, dass der niedrige durchschnittliche Schallpegel von 33,83 dB (A) im akustisch isolierten Raum für die verminderte Anzahl der Weckreaktionen verantwortlich war. Der einmalig erreichte

Maximalpegel von 45,8 dB (A) (sonst 34,5 dB Maximalpegel) im akustisch isolierten Raum unterstützt diese Aussage. Genauso wie eine erhöhte Anzahl an Weckreaktionen im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung bei Maximalpegeln von 51 dB (A) (zu Hause) und 55,7 dB (A) (im Schlaflabor) nachvollziehbar sind. Dies bietet ebenfalls eine Erklärung dafür, dass der prozentuale Tiefschlafanteil im akustisch isolierten Raum gegenüber den anderen beiden Untersuchungsstätten erhöht war. Die Wachzeit nach Schlafbeginn war im akustisch isolierten Raum in dieser Studie mit 17 Minuten zwar kürzer als im Schlaflabor und in häuslicher Umgebung (21/22 Minuten), dieser Unterschied zeigte allerdings keine statistische Signifikanz und kann deshalb nur als Trend angesehen werden.

4.3.7 Temperatur als Einflussgröße auf den Schlaf

Die Temperatur steht im engen Zusammenhang mit dem Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen. Genauso wie der Schlaf-Wach-Rhythmus, wird die Körpertemperatur über eine zirkadiane Rhythmik, ausgehend von den Nervenkernen der Hirnbasis gesteuert. So nimmt die Körpertemperatur zum Beispiel gegen Ende der Nacht hin zu und fördert damit das Gefühl der Wachheit am Morgen. Dahingegen nimmt die Körpertemperatur zu Beginn der Nacht hin ab, was den Organismus auf den Schlaf vorbereitet⁷¹. Aber nicht nur die Körpertemperatur steht im Zusammenhang mit dem Schlafverhalten, auch die Raumtemperatur beeinflusst dieses, da sie in engem Zusammenhang mit ersterer steht⁷².

So konnte in einer Studie, in der Probanden mit dem obstruktiven Schlaf-Apnoe-Syndrom untersucht wurden, beobachtet werden, dass drei verschiedene Raumtemperaturen das Schlafverhalten und die Anzahl der nächtlichen Atemaussetzer, unterschiedlich beeinflussten. Bei nächtlichen Raumtemperaturen von 16°C, 20°C oder 24°C sank mit steigender Temperatur die Schlafeffizienz und die totale Schlafzeit, während der Apnoe-Hypopnoe-Index stieg. Die Länge der Schlafphasen blieb von der Temperatur unbeeinflusst⁷³.

In weiteren Studien konnte durch eine experimentelle Erhöhung der Hauttemperatur um nur 0,78 Grad Celsius eine Beschleunigung des Schlafbeginns um 26% erzielt werden⁷⁴ oder in älteren, insomnischen Probanden der Slow-Wave-Schlaf durch eine Erhöhung der Hauttemperatur um 0,4 Grad Celsius beinahe verdoppelt werden⁷⁵.

Die Umgebungstemperaturen in den drei, in dieser Studie verwendeten Schlafstätten unterschieden sich signifikant voneinander. Mit 22,53 °C war sie im akustisch isolierten Raum nur geringfügig niedriger als im Schlaflabor (22,82 °C) und etwas höher als in häuslicher Umgebung (20,18 °C). Im Gegensatz zu der oben genannten Studie, beeinflusste die Temperatur die Schlafeffizienz hier nicht. Der Einfluss der Temperatur auf die totale Schlafzeit kann in

dieser Studie nicht beurteilt werden, da die Probanden in der Studie an bestimmte Weckzeiten gebunden waren und nicht ausschlafen durften.

Van Someren postuliert 2006 den Zusammenhang zwischen Hauttemperatur und dem Auftreten von Schlaf. Schlaf trete vermehrt in derjenigen zirkadianen Phase auf, in der die Wärmeproduktion erniedrigt und die Wärmeabgabe erhöht ist, was mit vermehrter Hautdurchblutung und damit Erhöhung der Hauttemperatur einhergeht⁸¹. Zu ähnlichen Erkenntnissen kommt man in einem Review von 2012, in dem zusätzliche diskutiert wird, die künstliche Erhöhung der Hauttemperatur als Maßnahme zur Verbesserung des Schlafes anzuwenden⁷².

Zwar wird die Hauttemperatur durch die Umgebungstemperatur beeinflusst, wir gehen jedoch davon aus, dass die Raumtemperatur-Unterschiede in den in unserer Studie genutzten Räumen zu gering war, um eine ausschlaggebende Veränderung der Hauttemperatur hervorzurufen. Eine weitere Erklärung für das Abweichen der hiesigen Ergebnisse von denen in oben genannter Studie könnte sein, dass ältere Menschen stärker auf Temperaturunterschiede reagieren⁷⁵ und in dieser Studie ausschließlich relativ junge Probanden untersucht wurden. In der vorliegenden Studie sollte die Auswirkung verschiedener Schallabschirmungen auf die Schlafqualität untersucht werden. Weitere Einflussgrößen sollten sich zwischen den einzelnen Untersuchungsorten nach Möglichkeit wenig voneinander unterscheiden, um nicht als Störgrößen zu gelten. Wir gehen davon aus, dass die geringen Unterschiede der Raumtemperaturen an den verschiedenen Untersuchungsorten keinen Einfluss auf die Schlafqualität der Probanden hatten. Dasselbe gilt für die Luftfeuchtigkeit der Räume.

4.3.8 Luftfeuchtigkeit als Einflussgröße auf den Schlaf

Es gab signifikante Unterschiede zwischen der nächtlich gemessenen Luftfeuchtigkeit an den drei Untersuchungsorten dieser Studie. Diese Unterschiede nahmen jedoch keinen Einfluss auf die Schlafeffizienz und totale Schlafzeit der Probanden. Dies widerspricht dem Ergebnis einer Studie an älteren Probanden zu unterschiedlichen Jahreszeiten, mit dementsprechend variierender Luftfeuchtigkeit und Temperatur. In der genannten Studie sind sowohl Schlafeffizienz als auch totale Schlafzeit bei höheren Luftfeuchtigkeitswerten erniedrigt⁷⁶. Allerdings muss man beachten, dass die Vergleichbarkeit mit der hier vorliegenden Studie insofern eingeschränkt ist, dass die Messung zu unterschiedlichen Jahreszeiten viel größeren Luftfeuchtigkeitsschwankungen unterliegt und auch der Vergleich von Schlafparametern von relativ jungen mit älteren Probanden nicht ohne Einschränkungen möglich ist. Wir gehen davon

aus, dass die geringen Unterschiede der Raumluftfeuchtigkeit an den verschiedenen Untersuchungsorten keinen Einfluss auf die Schlafqualität der Probanden hatten.

4.3.9 Nächtlicher Schallpegel und Schlaf

Die negativen Auswirkungen von Lärm auf den Schlaf sind vielseitig untersucht und in dieser Arbeit bereits mehrfach erläutert. Was jedoch den Schlaf unter schall- und vor allem halligkeitsreduzierten Bedingungen betrifft, so befindet sich die Forschung noch in den Anfangsstadien und es ist schwierig passende Vergleichsmöglichkeiten zu finden.

Ein Bereich, in dem eine Geräuschreduktion gezielt zur Verbesserung der Schlafqualität eingesetzt wird, sind Intensivstationen von Krankenhäusern auf denen die Patienten aufgrund hoher Lautstärkepegel häufig ungenügend Schlaf finden. Es gibt verschiedene Herangehensweisen diese Geräuschreduktion umzusetzen. Zum einen gab es Studien in denen versucht wurde mit Ohrstöpseln den Lautstärkepegel zu senken, was meist positive Resultate zeigte ⁷⁷. Zum andern wurde eine Geräuschreduktion durch das Verhalten des Personals entsprechend den „Guidelines for controlling night-time noise“ mit der „normalen“, unbeeinflussten Umgebung einer Intensivstation verglichen. Als Ergebnis konnte in den Nächten, in denen die Guidelines eingehalten wurden, eine signifikante Verbesserung der Schlafqualität und -effizienz festgestellt werden ⁷⁸. Ein weiterer Ansatz ist die Einführung von Ruhezeiten auf Intensivstationen, sowohl tagsüber als auch nachts. In diesen Zeiten sollten sowohl der Geräuschpegel, als auch die Lichtstärke auf der Intensivstation auf ein Minimum reduziert werden. Auch diese Maßnahme zeigte Erfolg, indem die Wahrscheinlichkeit, dass die Patienten auch tagsüber schlafen konnten, signifikant anstieg ⁷⁹.

In einer Studie aus dem Jahr 2009 wurde der Einfluss von urbanen Geräuschen auf den Schlaf mittels Fragebögen ermittelt. Dabei wurden Probanden, die in „lauter Umgebung“ ($L_{eq} > 45$ dB) und Probanden die in „leiser Umgebung“ ($L_{eq} < 45$ dB) wohnen miteinander verglichen. Klares Ergebnis war, dass die Probanden der lauten Umgebung deutlich mehr Einschlafschwierigkeiten, schlechtere Schlafqualität, Müdigkeit am Folgetag und eine erhöhte Verwendung von Schlafmedikation aufwiesen. Ebenfalls konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lärmempfindlichkeit der Probanden und genannten negativen Effekten auf den Schlaf ermittelt werden ⁸⁰.

Es gibt aktuell keine Studien, in denen eine Reduktion von Umgebungsgeräuschen oder eine Verminderung der Raumhalligkeit während des Schlafes zur Verschlechterung der Schlafqualität geführt hat.

4.4 Zusammenfassende Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss einer nächtlichen Schallpegelreduzierung mit gleichzeitig verminderter Halligkeit auf den Schlaf von 24 schlaf- und hörgesunden Probanden untersucht. Als Ergebnis konnte eine Veränderung der Schlafarchitektur bei gleichbleibender Schlafeffizienz unter akustischer Isolierung festgestellt werden. Die Erhöhung des prozentualen Tiefschlafanteils und die Verminderung von Weckreaktionen tragen zu einer Verbesserung der Erholbarkeit des Schlafes bei und konnten in der vorliegenden Studie von gesunden Probanden im Alter von 18 und 37 Jahren unter schallreduzierten (und halligkeitsverminderten) Bedingungen gezeigt werden. Diese Erkenntnis stimmt mit den wenigen bisher durchgeführten Untersuchungen zur Verbesserung der Schlafqualität durch Geräuschreduktion überein⁷⁷⁻⁷⁹. Außerdem bestätigt sie die in vielen Studien aufgestellte Vermutung, die den negativen Einfluss von Geräuschen auf den Schlaf untersuchten, dass eine nächtliche Schallpegelreduktion eine günstige Kondition für erholsamen und effektiven Schlaf ist und einen essentiellen Beitrag zur Verminderung von gesundheitlichen Risiken, eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens mit sich bringt¹⁴.

Literaturverzeichnis

1. Babisch W. Quantifizierung des Einflusses von Lärm auf Lebensqualität und Gesundheit. *Sonderdruck Umwelt und Mensch* 2011;1:28-36.
2. Brezinka C, Lechner T, Stephan K. The fetus and noise. *Gynakol Geburtshilfliche Rundsch* 1997;37(3):119-29.
3. Gadberry AL. Steady beat and state anxiety. *J Music Ther* 2011;48(3):346-56.
4. Villarreal EA, Brattico E, Vase L, Ostergaard L, Vuust P. Superior analgesic effect of an active distraction versus pleasant unfamiliar sounds and music: the influence of emotion and cognitive style. *PLoS One* 2012;7:e29397.
5. Hume K, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. *Noise Health* 2012;14(61):297-302.
6. Henn H, Sinambari GR, Fallen M. Menschliches Gehör. *Ingenieurakustik: Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele*. Wiesbaden:Vieweg+Teubner Verlag, 2008:183-186.
7. Bundesministerium für Verkehr Referat Öffentlichkeitsarbeit. *Broschüre Lärmschutz im Verkehr*. Bundesministerium für Verkehr; 1998;1:11-15.
8. HUG Industrietechnik und Arbeitssicherheit GmbH Ergolding/Germany. Schallpegel gängiger Schallquellen in dB (A) und deren Gefahreinschätzung. (Accessed April 2 2014, at http://www.hug-technik.com/inhalt/ta/schallpegel_laermpegel.html.)
9. Lehmann C. Auditive Phonetik, Sprechsystem. Phonetik und Phonologie. (Accessed in July 2012, at http://www.christianlehmann.eu/ling/lg_system/phon/index.html)
10. Hecht K. Schlaf und die Gesundheits-Krankheitsbeziehung unter dem Aspekt des Regulationsbegriffes von Virchow. Engfer A. *Schlaf, Gesundheit, Leistungsfähigkeit*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993:3-12.
11. Hecht K, Maschke C. Health effects of traffic noise. Continuous nocturnal stress. Interview by Bettina Schellong-Lammel. *Fortschr Med* 1997;115(22-23):8-10.
12. Koella PW. *Die Physiologie des Schlafes*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/ New York, 1988.
13. Smith M, Robinson L, Segal R. *The sleepcycle: understanding the architecture of sleep*. (Accessed in June 2012, at <http://helpguide.org/life/sleeping.htm>).
14. Maschke C. Schlafstörungen und Verkehrslärm. Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm.p24-27.
15. Penzel T, Peter H, Peter J. Schlafstörungen. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. 2005;27:1-47.
16. Guski R. Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise Health* 1999;1(3):45-56.

17. Fields M. The timing of noise-sensitive activities in residential areas. *Nasa Contractor Report 177937*1985.
18. Assessing human health risks of chemical. Derivation of guidance values for health based exposure limits. Genf: World Health Organization; 1994.
19. Maschke C. Schlafstörungen und Verkehrslärm. Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm.p24-27.
20. Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt. Belästigung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 1990:1-6.
21. Bluhm G, Eriksson C. Cardiovascular effects of environmental noise: research in Sweden. *Noise Health* 2011;13(52):212-6.
22. Griefahn B, Spreng M. Disturbed sleep patterns and limitation of noise. *Noise Health* 2004;6(22):27-33.
23. Koella W. *Die Physiologie des Schlafes*. New York: Gustav Fischer Verlag; 1988
24. Koella W. Sinnes-Systeme. *Die Physiologie des Schlafes*. New York: Gustav Fischer Verlag; 1988. p 67-77.
25. Koella W. Informationsverarbeitung. *Die Physiologie des Schlafes*. New York: Gustav Fischer Verlag; 1988. p 82-95.
26. Kohlhuber M, Bolte G. Influence of environmental noise on sleep quality and sleeping disorders-implications for health. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2011;54(12):1319-24.
27. Huenecke J. 1998 April. Raumakustik. (Accessed 2013 April, at <http://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/index.html>)
28. Ancoli-Israel S, Cole R, Alessi C, Chambers M, Moorcroft W, Pollak CP. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep* 2003;26(3):342-92.
29. Iber C, Ancoli-Israel S, Chesson A, Quan S. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, terminology and technical specifications. Westchester, illinois: American Academy of Sleep Medicine; 2007.
30. Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep* 1991;14(6):540-5.
31. Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 1989;28(2):193-213.
32. Morin C, Belleville G, Bélanger L, Ivers H. The Insomnia Severity Index: Psychometric Indicators to Detect Insomnia Cases and Evaluate Treatment Response. *Sleep* 2011;5(34):601–608.

33. Ott H, Bischoff R, Oswald I. Review of sleep induction and hangover effects with visual analogue scales. *Methods of sleep research*. Stuttgart: Fischer VerlagKubicki, SHerrmann, WM 1985.
34. World Health Organization. 2004 Juli. BMI classification. (Accessed 2013 Juli, at http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html)
35. Bloch KE. Polysomnography: a systematic review. *Technol Health Care* 1997;5(4):285-305.
36. Millman RP. Full polysomnography in the home: has it come of age? *Chest* 1999;115(1):6-7.
37. Collop NA. Portable monitoring for the diagnosis of obstructive sleep apnea. *Curr Opin Pulm Med* 2008;14(6):525-9.
38. Broughton R, Fleming J, Fleetham J. Home assessment of sleep disorders by portable monitoring. *J Clin Neurophysiol* 1996;13(4):272-84.
39. Agnew HW, Webb WB, Williams RL. The first night effect: an EEG study of sleep. *Psychophysiology* 1966;2(3):263-6.
40. Saletu B, Klösch G, Gruber G, Anderer P, Udomratn P, Frey R. First-night-effects on generalized anxiety disorder (GAD)-based insomnia: laboratory versus home sleep recordings. *Sleep* 1996;19(9):691-7.
41. Roepke SE, Duffy JF. Differential impact of chronotype on weekday and weekend sleep timing and duration. *Nat Sci Sleep* 2010;2010(2):213-220.
42. Fischer FM, Nagai R, Teixeira LR. Explaining sleep duration in adolescents: the impact of socio-demographic and lifestyle factors and working status. *Chronobiol Int* 2008;25(2):359-72.
43. Hale L. Who has time to sleep? *J Public Health (Oxf)* 2005;27(2):205-11.
44. Coble P, McPartland RJ, Silva WJ, Kupfer DJ. Is there a first night effect? (a revisit). *Biol Psychiatry* 1974;9(2):215-9.
45. Saletu B, Frey R, Grünberger J. Street noise and sleep: whole night somnopolygraphic, psychometric and psychophysiologic studies in comparison with normal data. *Wien Med Wochenschr* 1989;139(11):257-63.
46. Li D, Zheng S, He Y, Gao H. Observation on sleep improvement under noise environment by wearing earplugs. *Space Med Med Eng (Beijing)* 1998;11(2):133-5.
47. Scotto CJ, McClusky C, Spillan S, Kimmel J. Earplugs improve patients' subjective experience of sleep in critical care. *Nurs Crit Care* 2009;14(4):180-4.
48. Boyko Y, Ording H, Jennum P. Sleep disturbances in critically ill patients in ICU: how much do we know? *Acta Anaesthesiol Scand* 2012;56(8):950-8.

49. Kawada T, Suzuki S. Change in rapid eye movement (REM) sleep in response to exposure to all-night noise and transient noise. *Arch Environ Health* 1999;54(5):336-40.
50. Kawada T. Effects of traffic noise on sleep: a review. *Nihon Eiseigaku Zasshi* 1995;50(5):932-8.
51. Evolution und Funktion des Schlafes. *Vorlesung E3* ed. im Rahmen der 55. Lindauer Psychotherapiewochen 18. – 22. April 2005.
52. Born J, Plihal W. Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau* 2000;51(4):198-208.
53. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al.. The Possible Functions of REM Sleep and Dreaming. Sunderland: *Sinauer Associates*, 2001.
54. Dijk DJ. Slow-wave sleep deficiency and enhancement: implications for insomnia and its management. *World J Biol Psychiatry* 2010;11 Suppl 1:22-8.
55. Basner M, Griefahn B, Berg M. Aircraft noise effects on sleep: mechanisms, mitigation and research needs. *Noise Health* 2010;12(47):95-109.
56. Basner M, Samel A. Effects of Nocturnal Aircraft Noise on Sleep Structure. *Somnologie* 2005 9(2):84-95.
57. Wilkinson RT, Campbell KB. Effects of traffic noise on quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. *J Acoust Soc Am* 1984;75(2):468-75.
58. Perron S, Tétreault LF, King N, Plante C, Smargiassi A. Review of the effect of aircraft noise on sleep disturbance in adults. *Noise Health* 2012;14(57):58-67.
59. LeVere T, Davis N. Arousal from sleep: the physiological and subjective effects of a 15 dB(A) reduction in aircraft flyover noise. *Aviat Space Environ Med* 1977;48(7): 607-11.
60. Maschke C, Hecht K. Schlaf und Lärm. *Prakt Arb.med.* 2007;12-19.
61. Plihal W, Born J. Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *J Cogn Neurosci* 1997;9(4):534-47.
62. Bonnet M. Performance and sleepiness following moderate sleep disruption and slow wave sleep deprivation. *Physiol Behav* 1986;37(6):915-8.
63. Horne J. Why we sleep - The functions of sleep in humans and other mammals. *University Press Oxford* 1988:319pp.
64. Akerstedt T, Hume K, Minors D, Waterhouse J. Good sleep--its timing and physiological sleep characteristics. *J Sleep Res* 1997;6(4):221-9.
65. Mendelson WB, Garnett D, Gillin JC, Weingartner H. The experience of insomnia and daytime and nighttime functioning. *Psychiatry Res* 1984;12(3):235-50.

66. Hoch C, Reynolds C, Kupfer D, Berman S, Houck P, Stack J. Empirical note: selfreport vs. recorded sleep in healthy seniors. *Psychophysiology* 1987;24(3):293-99.
67. Kirilly E, Molnar E, Balogh B, Kantor S, Hansson SR, Palkovits M, Bagdy G. Decrease in REM latency and changes in sleep quality parallel serotonergic damage and recovery after MDMA: a longitudinal study over 180 days. *Int J Neuropsychopharmacol* 2008;11(6):795-809.
68. Basner M, Griefahn B, Müller U, Plath G, Samel A. An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal. *Sleep* 2007;30(10):1349-61.
69. Sforza E, Chapotot F, Lavoie S, Roche F, Pigeau R, Buguet A. Heart rate activation during spontaneous arousals from sleep: effect of sleep deprivation. *Clin Neurophysiol* 2004;115(11):2442-51.
70. Morrell M, Finn L, Kim H, Peppard P, Badr M, Young T. Sleep fragmentation, awake blood pressure, and sleep-disordered breathing in a population-based study. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162(6):2091-6
71. Penzel T, Glos M. *Schlafstörungen und ihre Behandlungsmethoden*. (Accessed 2012 Juni, at <http://www.charite.de/dgsm/rat/zirkad.html>)
72. Romeijn N, Raymann RJ, Møst E, Te Lindert B, Van Der Meijden WP, Fronczek R, Gomez-Herrero G, Van Someren EJ. Sleep, vigilance, and thermosensitivity. *Pflugers Arch* 2012;463(1):169-76.
73. Valham F, Sahlin C, Stenlund H, Franklin KA. Ambient temperature and obstructive sleep apnea: effects on sleep, sleep apnea, and morning alertness. *Sleep* 2012;35(4):513-7.
74. Raymann RJ, Swaab DF, Van Someren EJ. Cutaneous warming promotes sleep onset. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2005;288(6):R1589-97.
75. Raymann R, Swaab D, Van Someren E. Skin deep: enhanced sleep depth by cutaneous temperature manipulation. *Brain* 2008;131(2):500-13.
76. Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int J Biometeorol* 2010;54(4):401-9.
77. Wallace CJ, Robins J, Alvord LS, Walker JM. The effect of earplugs on sleep measures during exposure to simulated intensive care unit noise. *Am J Crit Care* 1999;8(4):210-9.
78. Li SY, Wang TJ, Vivienne Wu SF, Liang SY, Tung HH. Efficacy of controlling nighttime noise and activities to improve patients' sleep quality in a surgical intensive care unit. *J Clin Nurs* 2011;20(3-4):396-407.
79. Dennis CM, Lee R, Woodard EK, Szalaj JJ, Walker CA. Benefits of quiet time for neuro-intensive care patients. *J Neurosci Nurs* 2010;42(4):217-24.
80. Stosić L, Belojević G, Milutinović S. Effects of traffic noise on sleep in an urban

- population. *Arh Hig Rada Toksikol* 2009;60(3):335-42.
81. Van Someren EJ. Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms. *Prog Brain Res.* 2006;153:309-24.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Charlotte Barthe, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: 'Auswirkung von Geräuschen auf den Schlaf in unterschiedlich schallabgeschirmten Räumen' selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste

Eine Publikation liegt zur Zeit der Eröffnung des Promotionsverfahrens noch nicht vor. Geplant ist jedoch u.a. die Publikation eines Artikels im Journal "Sleep".

Danksagung

Mein Dank gilt dem Leiter des Interdisziplinären Schlafmedizinischen Zentrums, Herrn PD Dr. med. Ingo Fietze für die Betreuung meiner Arbeit und Dipl. Ing. Martin Glos, der mir bei allen Fragen jeder Zeit behilflich war.

Außerdem danke ich Herrn Ruwen Warnke für die freundliche Unterstützung bei statistischen Berechnungen dieser Arbeit, sowohl als auch Herrn Dipl.-Math. Klaus Lenz des Instituts für Biometrie und Klinische Epidemiologie für weitere statistische Beratung.

Des Weiteren danke ich dem Team des Schlaflabors "Advanced Sleep Research", das mich in vielerlei Hinsicht bei der Durchführung des praktischen Teils dieser Arbeit unterstützte und natürlich bei meinen 24 Probanden dafür, dass sie sich die Zeit genommen haben, an dieser Studie teilzunehmen.

Zuletzt danke ich Ina Hildebrandt für wertvolle Inspiration und meiner Schwester Käthe für hilfreiche Tipps und allgemeine Unterstützung über den gesamten Zeitraum der Erstellung dieser Arbeit hinweg.