

Der Einfluss von akustischen Reizen auf die Gedächtniskonsolidierung während dem Schlaf

Masterarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe

am Masterstudiengang Digital Media Production an der Fachhochschule
St. Pölten, **Masterklasse Audio Design**

von:
Nicholas Ivansits, BSc
mp201519

Betreuer*in: Assoc.-Prof. Dr. Kerstin Hoedlmoser
Zweitbetreuer*in: FH-Prof. Dipl.-Ing. Andreas Markus Büchele

Wien, 15.01.2022

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

Wien, 15.01.2023



.....
Ort, Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Kurzfassung

Ziel der Studie: Die Untersuchung der Auswirkungen von akustischen Reizen auf die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes, sowie die subjektive Wahrnehmung des Schlafes während des Tragens von Kopfhörern.

Studiendesign: Fünf weibliche und fünf männliche Versuchspersonen ($M = 23.80$ Jahre, $SD = 0,919$) wurden über zwei Nächte hinweg untersucht und ihre Merkfähigkeit mittels einer deklarativen Wortpaaraufgabe überprüft. Zu Beginn wurden die allgemeine Schlafqualität und biografischen Daten mittels Fragebogen erfasst. Danach haben die Versuchspersonen alle Wortpaaraufgaben mithilfe der Freigabe eines *Google Drive* Ordner selbstständig durchgeführt. In einer Nacht wurden akustische Reize mit den beigelegten Kopfhörern (*Nightbuds* – von der Firma *Kokoon*) abgespielt. In der anderen Nacht setzten sich die Versuchspersonen lediglich die Kopfhörer auf, ohne akustische Reize abzuspielen.

Ergebnisse: Auswirkungen akustischer Reize während des Schlafes auf die Gedächtniskonsolidierung konnten durch die vorliegenden Ergebnisse nicht nachgewiesen werden. Jedoch wurde ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Schlafverhalten und den Kopfhörern nachgewiesen. Folglich wurde festgestellt, dass der Tragekomfort und die Lautstärke der Kopfhörer mit der subjektiven Einschlafphase der Versuchspersonen korrelieren.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse legen nahe, dass es keinen Unterschied zwischen der Gedächtniskonsolidierung mit und ohne akustische Reize während des Schlafes gibt. Dies auf eine kleine Stichprobe ($N=10$) bezogen. Des Weiteren kann nachgewiesen werden, dass besonders im Konsumentenbereich der Schlaftechnologie ein Fokus auf den Tragekomfort der Geräte liegt. Ebenso könnte eine Studie zur empfohlenen Lautstärke von Audiotücken während des Schlafes hilfreich für die Konsumenten sein.

Schlüsselwörter: Gedächtniskonsolidierung, auditorische Reize, Schlafqualität, Merkfähigkeit, Kopfhörer, Schlaftechnologie

Abstract

Abstract

Aim of the study: To investigate the effects of auditory stimuli on memory consolidation during sleep, and the subjective perception of sleep while wearing headphones.

Study design: Five female and five male subjects ($M = 23.80$ years, $SD = 0.919$) participated in this study. Their sleep and memory were assessed over two nights. At the beginning, general sleep quality (PSQI) and biographical data were collected. Subsequently, subjects completed the word pair tasks independently using a shared *Google Drive* folder. During one of the two nights, acoustic stimuli was inducted using the headphones (*Nightbuds* - from the company *Kokoon*). During the other night, the subjects wore headphones without playing any acoustic stimulus.

Results: The expected effects of acoustic stimuli on memory consolidation could not be confirmed by the results. However, a correlation between subjective sleep patterns and headphones was found. However, the comfort and volume of the headphones were found to have a direct correlation on the subjects' ability to fall asleep.

Conclusion: The results suggest that there is no difference between memory consolidation with and without acoustic stimuli during sleep in this small population ($N=10$). Furthermore, it could be suggested that especially in the consumer area of sleep technology, the focus should lie on the comfort of the devices. Similarly, a study on the recommended volume of audio pieces during sleep could be helpful for consumers.

Keywords: memory consolidation, auditory stimuli, sleep quality, memory retention, headphone, sleep technology

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	2
Kurzfassung	3
Abstract	4
Inhaltsverzeichnis	5
1. Einleitung	7
2 Theorie	8
2.1 Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes	8
2.1.1 Einflussfaktoren	9
2.1.2 Schlafqualität	11
2.2 Akustische Reize in den Schlafphasen	12
2.2.1 Schlaf und Musik	14
2.3 Schlaufoptimierung im Konsumentenbereich	16
2.3.1 Kokoon und weitere Konzerne	17
2.4 Ziel der vorliegenden Studie	19
3. Methodik	20
3.1 Stichprobe	20
3.2 Versuchsdesign	21
3.3 Auswahlmöglichkeiten der Soundbibliothek	24
3.3.1 Analyse der Audiostücke aus der Soundbibliothek der Applikation My Kokoon	25
3.4 Schlaufüberwachung von der Applikation „My Kokoon“	31
3.5 Relevante Fragebögen	32
4. Hypothese	34
4.1 Gedächtniskonsolidierung und Sound	34

Inhaltsverzeichnis

4.2 Subjektive Schlafqualität und Kopfhörer	35
5. Ergebnisse	36
5.1 Gedächtniskonsolidierung und akustische Reize	36
5.2 Subjektive Schlafqualität und Kopfhörer	40
6. Diskussion	44
6.1 Geschlechterspezifische Gedächtnisforschung	45
6.2 Subjektive Wahrnehmung	45
6.3 Limitationen	47
6.4 Schlussfolgerungen	48
Literaturverzeichnis	49
Abbildungsverzeichnis	53
Tabellenverzeichnis	55
Internetquellenverzeichnis	56

1. Einleitung

1. Einleitung

Mittlerweile wird Schlaftechnologie nicht mehr ausschließlich im Schlaflabor eingesetzt, sondern bildet ein breites Spektrum im Konsumentenmarkt. Hier gibt es von Applikationen für das Smartphone bis hin zu eigens dafür kreierten Geräten, einige Produkte, die den Schlaf optimieren sollen. Oftmals werden diese Schlaftechnologien damit beworben für einen verbesserten Schlaf zu sorgen und damit eingehend eine verbesserte Leistung untertags (Debellemaniere et al., 2018; Ko et al., 2015; Oh et al., 2022; The Authoritative Source for Consumer Technologies Market Research, 2015). Ebendiese Technologie bieten neue Optionen und Möglichkeiten für die Erforschung des Schlafes, beispielsweise eine ambulante, anstatt stationäre Überprüfung des Schlafes. Schlaf ist in unterschiedliche Schlafphasen unterteilt, die sich in ihrer Ausprägung unterscheiden. Während des Schlafes verarbeitet, sortiert und speichert das Gehirn Informationen in unterschiedlichen Regionen ab. Einer der vielen Arbeitsprozessen davon ist das Konsolidieren von Gedächtnisspuren (Rasch & Born, 2013). Diese Masterarbeit soll mithilfe von aktueller Schlaftechnologie im Konsumentenbereich klären, ob sich diese auf die Gedächtniskonsolidierung auswirkt und einen direkten Effekt auf die Merkfähigkeit der Versuchspersonen hat. Frühe Schlafinduktion wurde mittels weißen Rauschens durchgeführt (Spencer et al., 1990). Heutzutage ist das Angebot für den Konsumentenbereich größer. Beispielsweise werden alle Formen von buntem Rauschen (weiß, braun, rosa, etc.), akustische Räume und Geräuschkulissen (Wellen am Strand, Lagerfeuer, Wind im Wald, etc.) angeboten. Die Firma Kokoon bieten unter anderem Kopfhörer für einen erholsamen Schlaf an. Diese werden im Innenohr getragenen, diese Art von Kopfhörer wird auch *In-Ear* Kopfhörer betitelt. Sie tragen den Namen *Nightbuds* und sind für den Konsumentenmarkt entwickelt worden. Mit der Smartphone Applikation *My Kokoon* soll der Schlaf aufgezeichnet und die Audiostücke gesteuert werden. In dieser Arbeit wurden sowohl die Applikation als auch die Kopfhörer überprüft und analysiert. Mit ihnen soll herausgefunden werden, ob es eine Auswirkung der Audiostücken aus der Audiobibliothek der Applikation *My Kokoon* auf die Gedächtniskonsolidierung von Wortpaaren gibt.

Anfangs wird der aktuelle Stand der Forschung zum Bereich Schlaf und Gedächtniskonsolidierung zusammengefasst. Gefolgt von den Themen Schlafqualität, auditorische Reize während des Schlafes und Schlaftechnologie im Konsumentenbereich. Daraufhin wird die Methodik der Studie und die dazu aufgestellten Hypothesen erläutert. Folgend darauf die Ergebnisse der Studie und die Diskussion. Zuletzt wird auf Limitationen und Schlussfolgerungen eingegangen.

2. Theorie

2.1 Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes

Schlaf wird als Zustand verstanden, indem die Konsolidierung von neu erworbenen Informationen im Gedächtnis optimiert wird. Konsolidierung ist ein aktiver Prozess, der auf Reaktivierung und Reorganisierung von neu codierten Informationen im neuralen Netzwerk beruht (Born et al., 2006).

Das Gedächtnis unterscheidet drei grundlegende Prozesse:

- Das Abspeichern (Enkodierung) von Information
- Die Konsolidierung der erworbenen Information
- Der Abruf von Erinnerungen

Die Kodierung von Informationen bezieht sich auf einen Lernprozess, bei dem neue Inhalte in einer neuralen Spur kodiert werden (Born et al., 2006). Prozesse, die nach dem Lernen weiterlaufen um die neu kodierten Gedächtnisspuren stabilisieren werden als **Konsolidierung** bezeichnet. Diese stabilisiert, verbessert und wandelt, die anfangs fragile und vorübergehende Gedächtnisspur in eine stabile um. Somit wirkt die Konsolidierung also dem Vergessen entgegen (Wixted, 2004). Es gibt eine Reihe von Befunden, die darauf hinweisen, dass Schlaf auch die Konsolidierung des **deklarativen Gedächtnisses** fördert. So wurden in den ersten experimentellen Studien, die die Rolle des Schlafes untersuchten, deklarative Aufgaben wie das Lernen von Wortpaaren und Nonsense-Silben verwendet (Born et al., 2006; Wixted, 2004). Als Abruf wird der Prozess bezeichnet, der auf ebenjene abgespeicherte und stabile Information zugreifen kann (Born et al., 2006).

Während im Schlaf die Konsolidierung des Gedächtnisses gefördert wird, finden die Kodierung und der Abruf von Erinnerungen im Wachzustand statt. Durch spezifische Muster der neuronalen Aktivität und elektrischen Feldpotenzialschwingungen wird die Konsolidierung im *Slow-Wave-Schlaf* (SWS) und dem *Rapid-Eye-Movement* (REM) Schlaf unterstützt. Dies wird als **Systemkonsolidierung** bzw. die synaptische Konsolidierung bezeichnet. Das

2. Theorie

Problem am Abspeichern von neuen Informationen im Langzeitgedächtnis liegt darin, dass es keine alte stabile Information überschreiben soll. Deshalb wird von einem zwei Phasen Modell ausgegangen. Neue Informationen werden im Kurzzeitgedächtnis (*Buffer*) gespeichert, der diese Information schnell aufnehmen kann und erst nach mehrmaligen konsolidieren wird diese Information ins Langzeitgedächtnis übertragen. Dadurch hat das Langzeitgedächtnis länger Zeit die Information umzuverteilen und das Gedächtnis zu erweitern. Im Schlaf wiederum wird keine neue Information aufgenommen, wodurch die anfangs fragile Informationen in eine stabile Repräsentation umgewandelt werden kann (Diekelmann & Born, 2010).

Im Fokus dieser Arbeit steht vor allem der Prozess der Systemkonsolidierung von Informationen, jedoch spielen Enkodierung, Konsolidierung und Abruf der Erinnerungen zusammen und bieten nur gemeinsam einen Einblick in das Gedächtnis.

2.1.1 Einflussfaktoren

Schlafdauer und -zeit werden als wichtige Indikatoren für die Verbesserung der Gehirnleistung verstanden. So wurden signifikante Vorteile auf das Gedächtnis bei einer 8-stündigen Nachtruhe beobachtet, aber auch kürzere Nickerchen von 1-2 Stunden und sogar kurze Nickerchen von 6 Minuten können die Gedächtnisleistung verbessern. Einige Forschungsergebnisse zeigen auf, dass eine kurze Verzögerung zwischen der Kodierung von Information und dem Schlaf die Gedächtniskonsolidierung optimiert. Zum Beispiel wurde festgestellt, dass für deklarative Information Schlaf, der 3 Stunden nach dem Lernen eintrat effektiver war als Schlaf der erst um mehr als 10 Stunden eintrat (Diekelmann & Born, 2010). In Studien wurden die Auswirkungen auf die Konsolidierung zwischen Schlafperioden mit unterschiedlichen Anteilen von SWS und REM-Schlaf verglichen. Beim Menschen dominieren SWS und REM-Schlaf den frühen bzw. späten Teil des nächtlichen Schlafs. SWS-reicher, früher Schlaf begünstigt durchweg die Konsolidierung von deklarativen Erinnerungen (Maquet, 2001).

SWS und REM-Schlaf haben komplementäre Funktionen zur Optimierung der Gedächtniskonsolidierung. Während des SWS - gekennzeichnet durch langsame, oszillationsinduzierte, weit verbreitete Synchronisation der neuronalen Aktivität - integriert aktive Systemkonsolidierung neu kodierte Erinnerungen mit dem bereits vorhandenen Langzeitgedächtnis und induziert dadurch eine Veränderung in den jeweiligen Repräsentationen. Die Systemkonsolidierung wirkt

2. Theorie

im Zusammenspiel mit dem globalen synaptischen Downscaling, das vor allem dazu dient, eine Sättigung der synaptischen Netzwerke zu verhindern. Der anschließende REM-Schlaf - gekennzeichnet durch die Desynchronisierung neuronaler Netzwerke, was möglicherweise eine Entkopplung der Gedächtnissysteme widerspiegelt - könnte zur Stabilisierung der umgewandelten Erinnerungen beitragen, indem er eine ungestörte synaptische Konsolidierung ermöglicht (Diekelmann & Born, 2010; Maquet, 2001). Diese Systemkonsolidierung findet zwischen dem Hippocampus und Kortex im Dialog statt. Der Dialog wird von langsamen Oszillationen (SO), Schlafspindeln sowie *sharp wave ripples* begleitet (Diekelmann & Born, 2010). Schlafspindeln sind dafür bekannt mit der neuronalen Integrität von Gedächtnisstrukturen wie dem medialen präfrontalen Kortex, dem Thalamus, dem Hippocampus und dem Großhirnlappen zusammenzuhängen (Helfrich et al., 2021). Außerdem sind SOs sogenannte Wanderwellen und damit ein Marker für die Konnektivität des Gehirns. Beispielsweise dafür wäre eine erneute Exposition während des SWS mit einem Geruch, der zuvor mit einer deklarativen Gedächtnisaufgabe zusammenhängt. Dieses Verfahren ist bekannt als **schlafbezogene Gedächtnisreaktion**. Es geht von der Annahme aus, dass die Präsentation lernbezogener Inhalte während des Schlafs, die neurophysiologischen Mechanismen auslösen, die der neuronalen Wiederholung zugrunde liegen (Hoedlmoser et al., 2022).

2. Theorie

2.1.2 Schlafqualität

Die wissenschaftliche Messung von Schlafqualität kann in zwei unterschiedlichen Formen gemacht werden, subjektiv und objektiv. Diese unterscheiden sich in ihrer Auslegung und bieten unterschiedliche Ergebnisse. Objektive Messmethoden wie beispielsweise die Polysomnographie und die Aktigraphie werden meistens in Schlaflaboren verwendet und bieten im Rahmen des Schlaflabors akkurate Ergebnisse der physiologischen Verfassung von Versuchspersonen. Die Aktigraphie ist weit verbreitet und wurde in verschiedenen Bevölkerungsgruppen validiert. Es werden zunehmend alternative Geräte zur Messung des Schlafverhaltens angeboten, die meisten befinden sich jedoch noch im Prototypenstadium und sind unzureichend validiert. Künftige Forschungsberichte werden sich auf die Entwicklung und weitere Validierung nicht-invasiver, kostengünstiger und benutzerfreundlicher Schlafmessgeräte für den Einsatz außerhalb von Labors konzentrieren (van de Water et al., 2011).

Im Gegensatz dazu findet die subjektive Messung von Schlaf meist mithilfe eines Schlaftagebuches oder von **Schlaffragebögen** statt. Diese Fragen meist die Wahrnehmung der Versuchspersonen oder den Schlafrhythmus ab. Der *Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI) ist ein Schlaffragebogen, der von Buysse et al. (1989) entwickelt wurde. Es handelt sich dabei um einen Selbstbericht über die subjektive Schlafqualität in den letzten 4 Wochen. Die ersten vier Fragen beziehen sich auf die Zeiten (Schlafenszeit, Zeit, die die Teilnehmenden zum Einschlafen brauchten, Aufstehzeit und Schlafstunden pro Nacht). Der Fragebogen erfragt danach auch unterschiedliche Probleme, die während des Schlafens auftreten können und nach dem subjektiven Schlafempfinden. Im Jahr 2017 wurde bei 34,5 Prozent der Schlafstudien im Zusammenhang mit Schlafqualität der PSQI verwendet (Pilz et al., 2018).

2. Theorie

2.2 Akustische Reize in den Schlafphasen

Auditive Stimulation beeinflusst nicht nur die Einschlafzeit, sondern auch die Gesamtschlafzeit, die Schlafeffizienz, die Aufwachzeit nach dem Einschlafen (WASO) und der Schlaf Struktur (Veränderung des Anteils der einzelnen Schlafstadien an der Gesamtschlafzeit) (Yoon & Baek, 2022). Eine Studie aus dem Jahr 1990 untersuchte zwei Gruppen von 20 Neugeborenen. Mittels weißen Rauschens schliefen sechzehn (80%) der Säuglinge innerhalb von fünf Minute ein. In der Kontrollgruppe sind im Vergleich dazu nur fünf (25%) der Neugeborenen spontan eingeschlafen (Spencer et al., 1990). Weißes Rauschen kann dazu führen, dass die Einschlaflatenz verringert wird. In einem lauten Umfeld, wie einer Großstadt, kann weißes Rauschen sowohl die subjektive als auch objektive Schlafqualität verbessern (Ebbesen et al., 2021). Eine weitere Studie führt an, dass die Schlafverbesserung nur wirksam ist, wenn sie aktiv verschrieben wird. So wurde bei Studierenden festgestellt, dass zwar die Schlaflatenz verringert wird, dies aber nur während einer Exposition. Einen Monat nach der Studie, wurden die Studierende erneut untersucht. Der Effekt hat nicht über einen längeren Zeitraum gewirkt, sie berichteten, dass die durch weißes Rauschen hervorgerufene Schlafverbesserung nur wirksam war, wenn sie wie Medikamente verabreicht wird (Forquer & Johnson, 2007). Wie weißes Rauschen ist rosa Rauschen dafür bekannt eine verbesserte Schlafqualität hervorzurufen. Es wird auch 1/f-Rauschen genannt, da sich dessen spektrale Leistungsdichte umgekehrt proportional zu der Frequenz des Signals verhält. Das menschliche Ohr empfindet diese Form von Rauschen weicher und angenehmer, da der Klang tiefer und eine niedrigere Schallwelle hat als weißes Rauschen. Einige Forschende entscheiden sich für rosa Rauschen, da es Gehirnwellen induziert, die für die Langzeitgedächtnisintegration zuständig sind (Papalambros et al., 2017). Braunes Rauschen, auch rotes Rauschen genannt, ist ein Rauschen mit einer Leistungsspektraldichte, die umgekehrt proportional zu f² ist. Die Intensität nimmt dadurch um etwa 6 dB pro Oktave ab, was zu einer tieferen Intensität führt. Im Gegensatz zum braunen Rauschen nimmt das violette Rauschen um 6 dB pro Oktave zu (Yoon & Baek, 2022).

2. Theorie

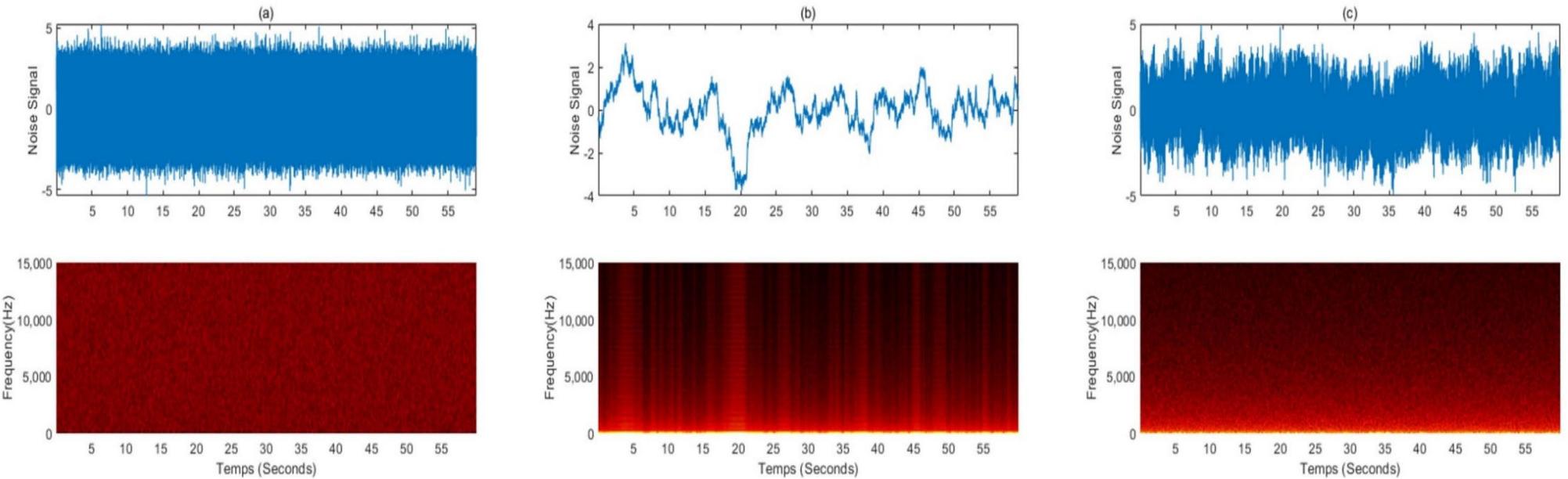


Abbildung 1. Yoon und Baek (2022) haben in ihren Befunden simulierte farbige Rauschsignale und ihre Spektrogramme dargestellt: a) weißes Rauschen, b) braunes Rauschen, c) rosa Rauschen. Die Leistungsichte der jeweiligen Rauschsignale ist durch das Spektrogramm unterhalb jedes Signales zu erkennen. So ist braunes Rauschen auch im Spektrogramm visuell weniger dicht als das simulierte weiße Rauschen (Yoon & Baek, 2022).

2. Theorie

Die oben angeführten Rauschen können externe Geräusche maskieren und somit den Schlaf induzieren, indem sie die Erregung minimieren. Beispielsweise konnte festgestellt werden, dass Patient*innen auf einer Intensivstation, die periodischen Alarmen von mechanischen Beatmungsgeräten, Infusionspumpen und gemischten Hintergrundgeräuschen ausgesetzt sind, eine erhöhte Erregung im Schlafverhalten aufweisen. Dies konnte jedoch mit der zusätzlichen Schallquelle des weißen Rauschens minimiert werden (Iwaki et al., 2003). Ein weiterer akustischer Reiz, zu dem einige Forschungsberichte vorliegen sind sogenannte binaurale Beats (BB). Hierbei werden Kopfhörer aufgesetzt und zwei reine Töne mit gleicher Intensität, aber leicht unterschiedlichen Frequenzen abgespielt. Durch das kontinuierliche Abspielen des externen Reizes mit einer konstanten Frequenz, kann eine Reaktion hervorgerufen werden, in der sich die Hirnrhythmen auf die Frequenzen des externen Reizes abstimmen (Le Scouarnec, 2001; Lovati et al., 2019). So wurde festgestellt, dass BB mit 40 Hz das Arbeitsgedächtnis verbessern und eine frequenzfolgende Reaktion induzieren (Wang et al., 2022).

2.2.1 Schlaf und Musik

Dickson und Schubert bieten einen grundlegenden Überblick der Erkenntnisse von der schlafverbessernden Wirkung von auditiver Stimulation. Sie fassen diese in sechs Aussagen zusammen (Dickson & Schubert, 2019)

1. Entspannungseffekt: Auditive Stimulation fördert physiologische oder psychische Entspannung.
2. Ablenkung: Musik spielt eine zentrale Rolle bei der Ablenkung von inneren Gedanken.
3. Synchronisation: Anpassung der biologischen Rhythmen an den Takt der Musik.
4. Geräuschmaskierung: Unterdrückung störender Hintergrundgeräusche durch Musik
5. Genuss: Hören von bevorzugter, emotional relevanter oder angenehmer Musik
6. Erwartungen: persönliche kulturelle Überzeugungen über Musik.

Im Vergleich dazu haben Trahan et al. (2018) Daten aus der Allgemeinbevölkerung erhoben, die durch Selbstselektion rekrutiert wurden. Die Forschungsfragen beliefen sich auf der Nutzung von Musik zum Einschlafen (einschließlich demografischer Daten, musikalischem Hintergrund und

2. Theorie

Engagement), welche Art von Musik sie wählen und warum sie glauben, dass Musik ihnen beim Schlafen hilft. Nach der Auswertung konnte er vier Kategorien aufstellen (Trahan et al., 2018):

1. *Provide*: Schlaf wird mittels Musik stimuliert.
2. *Habit*: Musik ist ein Teil der normalen Schlaufroutine.
3. *State*: Musik induziert einen körperlichen oder geistigen Zustand, der den Schlaf fördert.
4. *Distract*: Musik blockiert innere und äußere Reize, die den sonst Schlaf sonst stören würde.

Dr. Lee Bartel komponierte ein Stück zur Förderung des Schlafes, namens „Drifting into Delta“¹-Track. Es soll durch seine Frequenzen von 0,01-2Hz den Tiefschlaf herbeiführen und stützt sich auf Abhandlungen über den Einfluss von Hörimpulse mit Frequenzen von 0,25 bis 2 Hz auf die oszillatorische Kohärenz. Dies bestätigt eine Studie, die bei jungen gesunden Frauen gemessen hat, ob sich ihr Mittagsschlaf verbessert, wenn diese das Stück von Dr. Lee Bartel hören im Vergleich zu einem eingelesenen Kontrolltextes. Sowohl die objektive als auch die subjektive Schlafqualität konnte mit der Entspannungsmusik verbessert werden. Hierfür wurden die subjektiven Parameter anhand drei Fragebögen und einem Schlaftagebuch ausgewertet. Zusätzlich erhöhte die Musik signifikant objektive Parameter wie den Anteil des SWS und steigerte das Verhältnis von niedrigen und hohen Frequenzen, jedoch wurden dadurch Schlafstadien vor dem Tiefschlaf, wie beispielsweise der REM-Schlaf, verkürzt (Cordi et al., 2019). Dubey et a. (2019) hat im selben Jahr eine Studie an fünfzehn Probanden durchgeführt, die eine verzögerten Schlaflatenz aufwiesen. Ziel der Studie war es herauszufinden was die Auswirkungen vom Kammerton 432 Hz auf die Schlafqualität und Schlaflatenz während eines Tagesschlafs hat. Durch die akustische Intervention konnte bei den Versuchspersonen eine gewisse Verringerung der mittleren Schlaflatenz, mit einem signifikanten Anstieg der Alphawellen zu Beginn des Schlafes, festgestellt werden. Der Beruhigungseffekt zeigte somit eine erhöhte Alpha-Aktivität, aber keine signifikante Auswirkung auf die Schlaflatenz während eines Tagschlafs (Dubey et al., 2019).

Neben abstrakter Entspannungsmusik verändern Pop Songs mit Liedtexten die Schlafinduktion und Aufwachphase. Das Tempo und der Modus der gewählten Pop Stücke spielt hierbei eine zentrale Rolle. Genauso wie Klarheit und die Unregelmäßigkeit der Tonart. Diese zeigen erfolgreiche Ergebnisse der

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=riBDQHE0TpM>

2. Theorie

Schlafinduktion, wenn sie auf die Versuchspersonen personalisiert, sind (Lee et al., 2019). Zusätzlich zu Musik haben Umgebung und Raum einen Effekt auf die Schlafqualität. Lärmbelästigung und äußere Einflüsse sind die häufigsten externen Ursachen für Schlafstörungen. Verkehrsquellen wie Straßenverkehr, Eisenbahnen und Flugzeuge werden in Studien oftmals als äußerer Einfluss kategorisiert (Hume, 2008). Neben diesen gibt es weitere Lärmquellen die auf, die eine oder andere Weise den Schlaf stören können. Stansfeld et al. stellen fest, dass 12,6% der Befragten in ihrer Studie unter anderem unter Schlafstörung aufgrund des Nachbarschaftslärm litten (Stansfeld Stephen et al., 2000). Hierbei scheinen besonders Freizeit und Nachbarschaftslärm zu stören. Beispielsweise wurden die Ergebnisse der Schlafstörungen von Türenknallen und Fluglärm miteinander verglichen. Die Wahrscheinlichkeit, durch Fluglärm zu erwachen, ist bei gleichem Lärmpegel höher als bei den oben genannten zivilen Impulsgeräuschen. Allerdings war die Wahrscheinlichkeit des Aufwachens aufgrund von Mehrfachereignissen jedoch höher als die für Einzelereignisse bei gleichen bewerteten Schallpegeln (Omlin et al., 2011).

2.3 Schlafoptimierung im Konsumentenbereich

Schlaftechnologien für Verbraucher*innen verändern sowohl die Landschaft der Schlafgesundheit als auch der klinischen Schlafmedizin. Diese Technologien haben das Potenzial, die kollektive und individuelle Schlafgesundheit zu verbessern oder zu beeinträchtigen, je nach der Art der Anwendung (Ko et al., 2015). Im Jahr 2015 wurde eine Umfrage durchgeführt unter der 1029 Erwachsene in den USA angaben, ob sie eine Schlaftechnologie (ST) besitzen oder benutzen. Das Ergebnis der Umfrage ergab, dass 22% der Befragten diese benutzen oder besitzen. Weiteres nutzten Männer häufiger ST und 71% der Nutzer waren unter 45 Jahre alt. 10% der Befragten gaben an die ST regelmäßig zu verwenden. Von den Teilnehmer*innen waren zu 59% zufrieden mit aktueller ST, wie *Smartphone Apps* und tragbare Geräte im Konsumentenbereich. Als Hindernisse für die Verwendung wurden Kosten und zu erwartende Unannehmlichkeiten beim Tragen der ST angeführt (The Authoritative Source for Consumer Technologies Market Research, 2015). Trotz der zunehmenden Anerkennung des potenziellen Nutzens von Schlaftechnologie im Konsumentenbereich. Gibt es einige Schwierigkeiten in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung damit, denn oftmals werden die Studien zu den Geräten von der Firma intern beauftragt und bezahlt. Zusätzlich erschwert der Mangel an Informationen über die Gültigkeit und Genauigkeit von

2. Theorie

den aufgezeichneten und produzierten Daten und Informationen zu vertrauen und sie zu nutzen. (The Authoritative Source for Consumer Technologies Market Research, 2015) Außerdem werden ST in den meisten Studien in kontrollierten Umgebungen getestet. Eine aktuelle Studie testete jedoch die Leistung von ST unter ambulanter Schlafbedingungen und verglich sie mit im Schlaflabor aufgezeichneter Polysomnographie. Die Befunde legen nahe, dass im Schlaflabor das Aufzeichnen von Schlafstadien besser funktioniert. Jedoch merken Chinoy et al. (2021) an, dass alle der sieben tragbaren ST im Konsumentenbereich die Schlaf-Wach-Phasen akkurat messen konnten (Chinoy et al., 2021). Viele Befunde deuten darauf hin, dass sowohl Konsumenten als auch Firmen von Schlaftechnologie einen großen Wert auf den Tragekomfort, die Bedienung der Applikationen für die jeweilige ST und das Überprüfen der tatsächlich geschlafenen Stunden legen (Chinoy et al., 2021; Ko et al., 2015; The Authoritative Source for Consumer Technologies Market Research, 2015).

2.3.1 Kokoon und weitere Konzerne

In den 1950er Jahren, erfand Dr. Fogel einen Kopfhörer mit Geräuschunterdrückung, der von Piloten benutzt wurde, um die Lautstärke zu verringern die ein Pilot wahrnimmt, was einen Hörverlust verhindern kann. Im Jahr 1989 erfand der Gründer von Bose, Dr. Amar Bose, einen der ersten kommerziellen Kopfhörer mit Geräuschunterdrückung. Im Jahr 2013 wurde im Vereinigten Königreich ein Technologieunternehmen namens *Kokoon Technology* gegründet, das Geräuschunterdrückungsgeräte zur Verbesserung und Überwachung des Schlafs entwickelt (al Muhammed, 2022). Das Unternehmen *Kokoon* (<https://uk.kokoon.io/>) soll den Anwender*innen einen direkten Einblick auf den Schlaf bieten und eine Möglichkeit diesen zu optimieren. Unter anderem mit einer personalisierten Schlaftrainingsapplikation, einem Zeitplan und einer einfachen Bedienung. Im Angebot dazu stehen die im Innenohr anliegenden Kopfhörer *Nightbuds*, die um die Ohrmuschel geschlossenen Kopfhörer *Relax Headphones* und Accessoires wie ein Kissen, das von Raumanzügen inspiriert wurde, eine Nachtmaske und einen Raumduft der nach Lavendel riecht.

2. Theorie

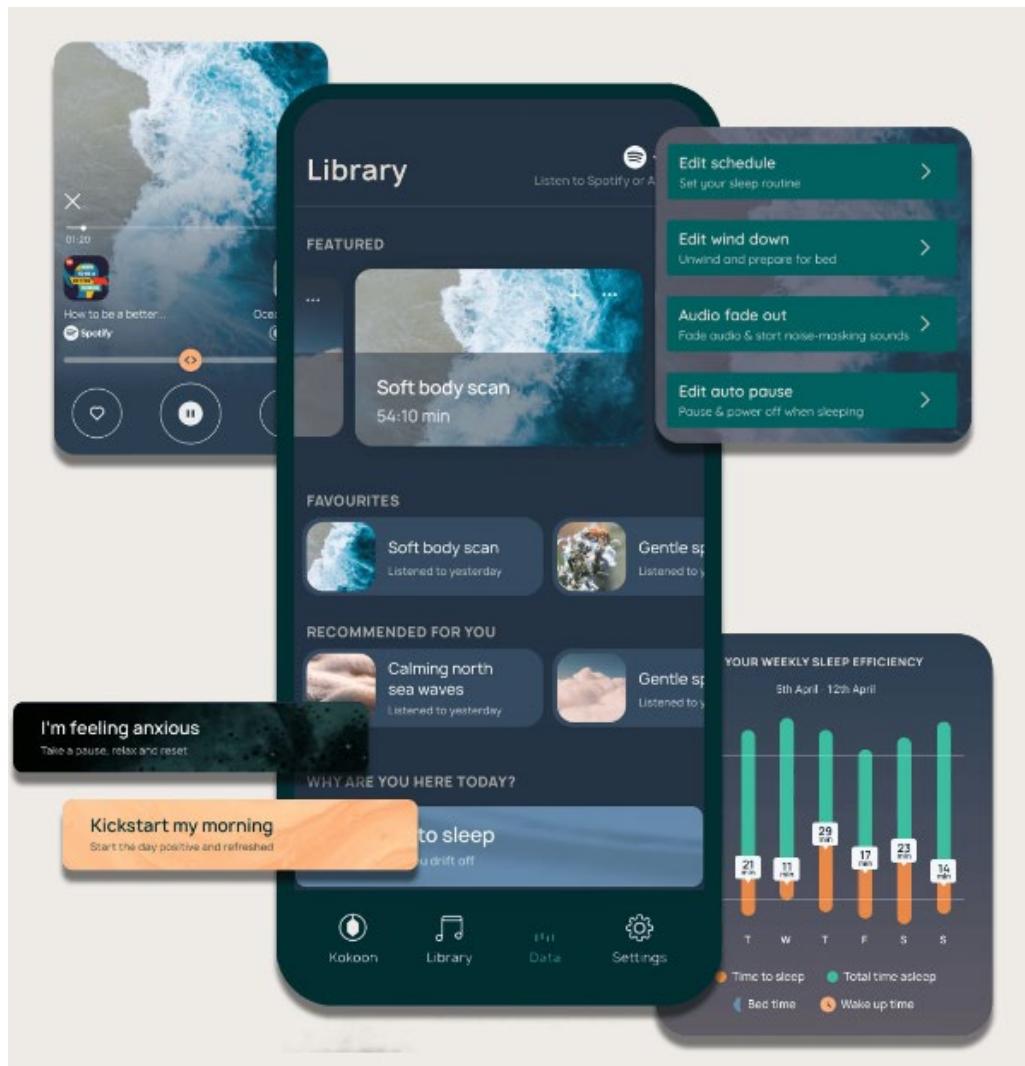


Abbildung 2. Ausschnitt von der Website der Firma „Kokoon“. Abgebildet ist die Auswahl der Audiostücke für den Schlaf und die Möglichkeit der Einstellungen des Zeitplanes für den Schlaf. Außerdem ist rechts im Hintergrund die absolute Zeit des Schlafes, Einschlafphase und die Aufwachzeit abgebildet.

Die Firma *Kokoon* richtet sich stark auf den Konsumentenmarkt und präsentiert Schlafoptimierung als einfaches Werkzeug für jeden. Die Applikation soll einfache Handhabung bieten und intuitiv sein. Auf der Firmenseite werden Bewertungen und Preise aufgelistet, die Funktionsweise erklärt und es wird ein kostenloser Schlaftest angeboten. Im Vergleich dazu gibt es eine weitere Firma die ST am Konsumentenmarkt anbietet namens *Dreem*. Diese bietet vom Schlafscreening über die Diagnose und Behandlung bis zur laufenden Betreuung von geschultem medizinischem Personal an. Sie verwenden hierfür ein Gerät, dass sowohl die Überwachung als auch automatische Analyse von EEG- und

2. Theorie

Biosignalen übernimmt. Es soll ein leichtes und einfach zu bedienendes Gerät sein, dass eine zuverlässige Alternative zur Polysomnographie ist, um Schlafmuster zu messen und zu diagnostizieren (<https://dreem.com/clinicaltrials>).

Des Weiteren bietet der Applikationen Markt von Android und IOS-Geräten eine Vielzahl an Lösungen für eine Optimierung des Schlafes an. Es handelt sich dabei meistens um Applikationen, die den Schlaf überwachen, als Schlaftagebücher dienen oder für Meditation genutzt werden können. Beispielsweise Applikationen, die über das Mikrofon die Atemregulation aufnehmen, Audiobibliotheken für Regen oder weißem Rauschen, Applikationen, die sich mit einer Smart Watch verbinden können und durch diese die Herzfrequenz aufnehmen (Ko et al., 2015).

2.4 Ziel der vorliegenden Studie

Aufgrund der vorgestellten Ergebnisse aus den unterschiedlichsten Studien setzt sich diese Masterarbeit mit der Frage auseinander, ob auditive Reize einen Einfluss auf die Konsolidierung von neu erworbener Gedächtnisinhalte während dem darauffolgenden Schlaf haben. Zusätzlich wird Schlaftechnologie zugänglicher und ist am Konsumentenmarkt angekommen. Inwieweit spielt die aktuelle Schlaftechnologie eine Rolle in der Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes. Die Firma *Kokoon* ist eine von vielen Firmen auf dem Konsumentenmarkt und bietet die Möglichkeit Studien ambulant in der gewohnten Umgebung der Versuchspersonen durchzuführen.

3. Methodik

3. Methodik

3.1 Stichprobe

Die Stichprobengröße beträgt 10 erwachsene Versuchspersonen ($N = 10$, 5 weiblichen Personen) im Alter von 22 bis 25 Jahren ($M = 23.80$ Jahre, $SD = 0,919$). Diese hatten einen regelmäßigen Schlafrhythmus und keine bekannten Schlafstörungen. Weiteres durften die Versuchspersonen während der Studie keine Drogen oder Medikamente einnehmen. Die Versuchspersonen haben zusätzlich Angaben über ihr Geschlecht, Körpergröße und Gewicht gemacht:

Tabelle 1. Stichprobengröße, Mittelwert, Standardabweichung und Range von Alter, Körpergröße und Gewicht

Gruppenstatistik				
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>R</i>
Alter in Jahren	10	23.80	.919	3
Körpergröße in cm	10	169.90	7.445	24
Gewicht in kg	10	61.10	6.315	20

Das Auswahlverfahren der Versuchspersonen hat sich auf den Wohnort Wien in Österreich beschränkt, dadurch konnten diese von der Versuchsleitung eine persönliche Einführung bekommen. Die Versuchspersonen wurden freiwillig rekrutiert und stammten aus dem Bekanntenkreis der Versuchsleitung. Dies kam deshalb zustande, weil die Versuchspersonen keine Entschädigung für die zwei Experimentalnächte bekamen und die Versuchsleitung die Einführung in ihrem zu Hause gemacht hat.

3. Methodik

Bevor die Versuchspersonen in die Studie instruiert wurden, fand eine Einteilung durch einen Zufallsgenerator statt. Dadurch konnten sie entweder in der ersten (A) oder zweiten (B) Gruppe eingeteilt werden. In Gruppe A findet die Frequenzstimulation in der ersten Nacht und in der zweiten Nacht tragen die Versuchspersonen lediglich die Kopfhörer, ohne akustische Reize abzuspielen. In Gruppe B starten die Versuchspersonen mit den Kopfhörern ohne der Frequenzstimulation in der Nacht. Diese findet bei Gruppe B in der zweiten Nacht statt. Die Einteilung der Gruppen hatte einen besonderen Grund. Es bestand die Gefahr, dass die Versuchspersonen in der ersten Wortpaaraufgabe schlechter abschneiden als in der zweiten Wortpaaraufgabe oder umgekehrt. Unterschiedliche Faktoren könnten dies bewirken: Ein mögliches schärfen der Merkfähigkeit oder ein Abfall der Motivation nach dem ersten Durchgang (Shaughnessy et al., 1974). Die Versuchspersonen wurden mit einer standardisierten Instruktion in die Studie herangeführt und unterschrieben eine Einverständniserklärung. Außerdem konnten die Proband*innen mithilfe der ausführlichen Erklärung des Studiendesigns erste Berührungs punkte mit der für Konsumenten ausgelegte Schlaftechnologie machen. Die Funktion ebendieser wurde in der Instruktion erklärt und die Versuchsleitung versicherte sich ein dahingehendes Verständnis der Funktionsweise. Die Versuchsleitung hat sich vor der Übergabe der technischen Geräte versichert, dass diese funktionsfähig und für die Versuchsperson individuell eingestellt ist (Zeitfenster des Schlafes eingestellt). Zusätzlich wurden die Versuchspersonen Anhand eines Beispiels durch das Encoding der Wortpaare geführt und aufkommende Fragen direkt aufgeklärt.

3.2 Versuchsdesign

Die Studie fand im Verlauf von 2 Nächten statt in denen die Versuchspersonen 8 Stunden Schlaf hatten (Abbildung 3). Sowohl in der ersten als auch in der zweiten Nacht tragen die Proband*innen die Kopfhörer der Firma *Kokoon*. Jedoch wurde lediglich in einer der zwei Nächte die akustischen Reize mittels der Kopfhörer abgespielt. Dies entschied ein Zufallsgenerator, dadurch besteht diese Studie aus zwei unterschiedlichen Einführungen. Ansonsten sind die Instruktionen identisch. Die Versuchspersonen haben mit der Versuchsleitung vor der Durchführung der Studie einen Zeitplan der zwei Nächte ausgearbeitet. Es wurden die Zeitpunkte festgelegt, an denen die Versuchspersonen die Wortpaaraufgabe durchführen, die Einschlafphase und die Aufwachphase sein sollte. Diese Einteilung hatte vor allem im Vordergrund zeitlichen Parameter zu erfüllen, die sich wie in den oben angeführten Studien (Kapitel 2.1.1) als

3. Methodik

signifikante Vorteile herausgestellt hatten (Diekelmann & Born, 2010). Deshalb wurde die Durchführung der Wortpaare drei Stunden vor der Einschlafphase durchgeführt, die Schlafphase auf 8 Stunden ausgelegt und die Aufwachphase auf eine halbe Stunde bevor das Abrufen der Wortpaare stattfindet. Die Wortpaare wurden der Versuchsleitung von der naturwissenschaftlichen Fakultät der Paris-Lodron-Universität Salzburg zur Verfügung gestellt. Es handelte sich um 80 deutschsprachige Wortpaare in der ersten Nacht und 80 weitere Wortpaare in der zweiten Nacht. Die Proband*innen hatten die Aufgabe sich die Wortpaare mithilfe von bildhaften Verbindungen vorzustellen (Hahn et al., 2019). Zusätzlich ist es von Relevanz die ambulante Situation des Studiendesigns zu erwähnen. Die Schlafstudie fand in den Schlafzimmern der Versuchspersonen statt, dadurch hatte die Versuchsleitung begrenzte Möglichkeiten die Proband*innen zu überwachen. Dies bietet im Vergleich zu einer Studie im Schlaflabor weniger Kontrolle der Versuchspersonen, dafür einen natürlicheren Schlaf als in einem Schlaflabor. Die Proband*innen haben im Vorfeld einen Link zu einem geteilten Ordner bekommen, in dem alle wichtigen Dokumente für die Studie zu den vereinbarten Zeiten freigeschalten wurden. Hier waren auch die Schlaffragebögen und Wortpaaraufgaben. Die Merkaufgabe war eine automatisierte PowerPoint Präsentation, die von den Versuchspersonen drei Stunden vor der Einschlafzeit abgerufen und abgespielt wurde. Während der Präsentation legten sich die Versuchspersonen den zu jeder Präsentation passend beigelegten Zettel und einen Stift bereit. Auf diesem wurde das fehlende Wortpaar in der Phase des Abrufes hingeschrieben. Nachdem die Präsentation zu Ende war, haben die Versuchspersonen den ausgefüllten Zettel in ein Kuvert gelegt und konnten ihn nicht mehr überprüfen oder korrigieren.

3. Methodik

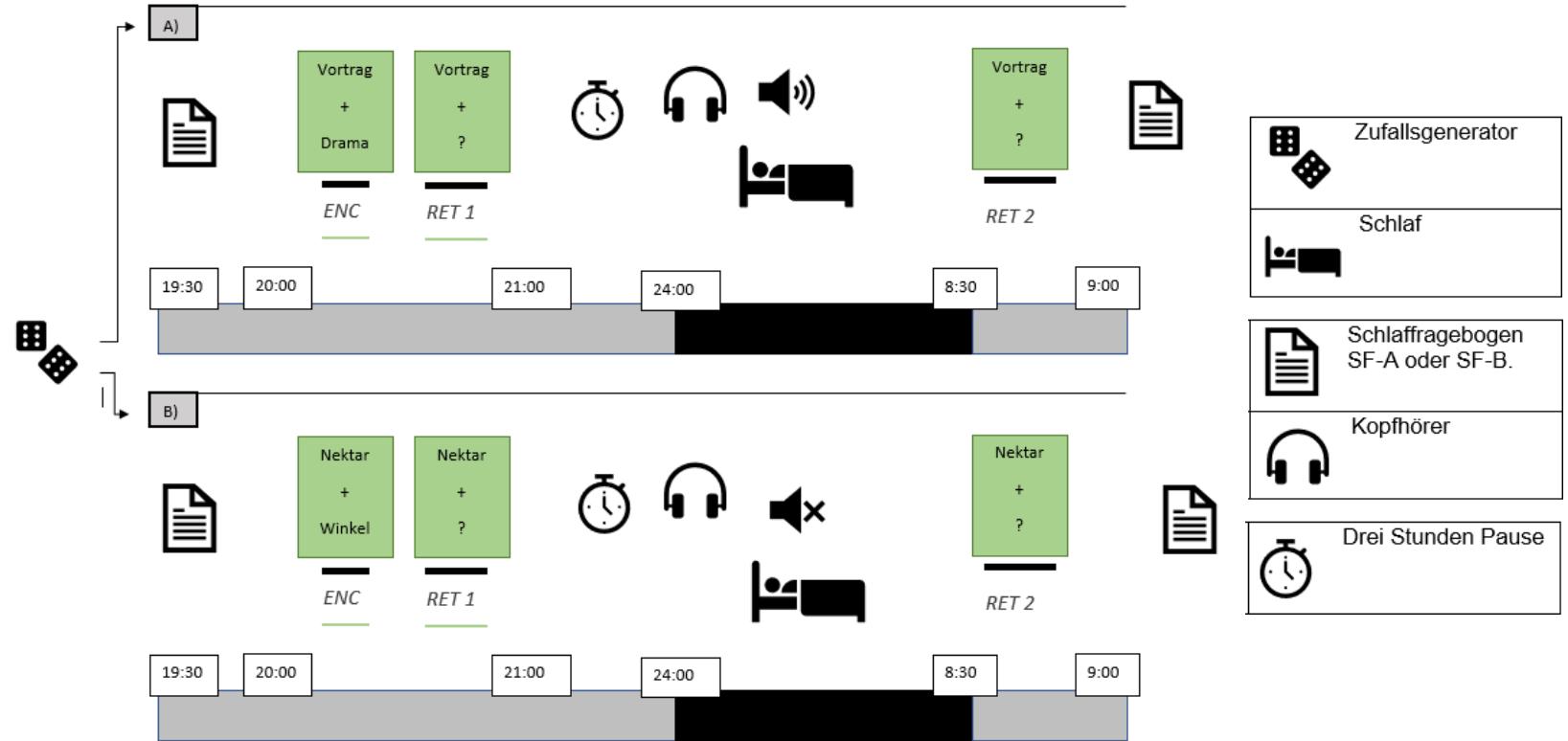


Abbildung 3. Versuchsdesign. Die ambulante Studie mit deklarativen Gedächtnisaufgaben wurde bei den Teilnehmer*innen zu Hause durchgeführt. In beiden Nächten haben die Versuchspersonen nach der Gedächtnisaufgaben drei Stunden Pause, schlafen die Versuchspersonen 8 Stunden und haben eine halbe Stunde Aufwachphase vor dem Abruf der Wortpaare. Außerdem tragen sie in beiden Nächten Kopfhörer, wobei nur in der Experimentalnacht akustische Reize abgespielt werden. Vor dem Studiendurchlauf wurde der Schlaffragebogen SF-A ausgefüllt und danach der Schlaffragebogen SF-B.

3. Methodik

In Abbildung 3 ist das Versuchsdesign einer Proband*in der Gruppe A zu sehen. Diese hat im Vorgespräch angegeben sich um 24 Uhr zum Schlafen hinzulegen. Vor der ersten Nacht wird der SF-A ausgefüllt. Die Kopfhörer von „Kokoon“ werden in beiden Nächten aufgesetzt und während des Schlafes getragen. Nach dem Encoding und der Wortpaarabfrage vor dem Schlaf haben die Versuchspersonen drei Stunden Pause in denen sie ihre normale Abendroutine durchgehen konnten. Die Versuchspersonen schlafen dann acht Stunden in ihrem Bett. Nach einer halben Stunde Aufwachzeit findet die morgendliche Wortpaarabfrage statt. Zuletzt wird nach der zweiten Nacht der SF-B am Morgen nach der Wortpaaraufgabe ausgefüllt.

3.3 Auswahlmöglichkeiten der Soundbibliothek

Die Auswahl der Audiotracks für diese Studie, richtete sich an der Audiobibliothek, der Applikation *My Kokoon*. Die *Nightbuds* von der Firma *Kokoon* bieten eine Applikation für das Smartphone an, in der unterschiedliche Audiodateien abgespielt werden können, ein Schlafrückblick abgerufen werden kann und die Gehirnaktivität gemessen wird. Die Soundbibliothek bietet von weißem Rauschen bis hin zu geführten Meditationen einiges an. Diese Studie hat sich auf die Sounds am Startscreen konzentriert. Hier konnten die Versuchspersonen zwischen den folgenden Sounds wählen:

- *Weißes Rauschen Kokoon*
- *Braunes Rauschen Kokoon*
- *Rosa Rauschen Kokoon*
- *Beach Waves*
- *Treehouse*
- *Autumn Rain*
- *Cabin*

Die Versuchspersonen konnten selbst entscheiden welches Audiotrack sie während des Schlafes hören wollen. Außerdem sollten sie die Lautstärke notieren, bei der sie eingeschlafen sind.

3. Methodik

3.3.1 Analyse der Audiotücke aus der Soundbibliothek der Applikation My Kokoon

Die einzelnen akustischen Stücke der Audiobibliothek von *My Kokoon* bilden die Soundstimulation für den Schlaf. Durch das Analysieren der Audiotücke mithilfe von dem Audioprogramm Adobe Audition sollte es nachvollziehbar sein, wie ebendiese klingen und wie sich diese auf das Gemüt der Versuchspersonen auswirken können. Die Soundanalyse findet auf dem Grundverständnis von Thomas Görne statt und zieht hierfür das Buch *Sound Design* als Referenz. Das Rauschen so wie es in der Form entsteht ist der Klang des Zufalls. Eine zufällige Mischung beliebiger Schallereignisse. Deshalb ist Rauschen stochastisch. Die Meeresbrandung, Applaus, Wasser aus einem Duschkopf oder der Wind sind makroskopische Ereignisse. Sie setzen sich aus einer zufälligen Schichtung mehrerer mikroskopischer Ereignisse zusammen. In der akustischen Reflexion nimmt das menschliche Gehör Rauschen als Geräusch wahr. Jedes Geräusch ist enthält eine Klangfarbe und eine Textur, aber keine tonale Empfindung (Görne, 2017).

Wie in Kapitel (2.2) erwähnt spielen weißes, braunes und rosa Rauschen eine therapeutische Rolle in der Forschung. Die Firma *Kokoon* bietet in ihrer Applikation *My Kokoon* drei unterschiedliche Rauschformen für die Konsumenten an.

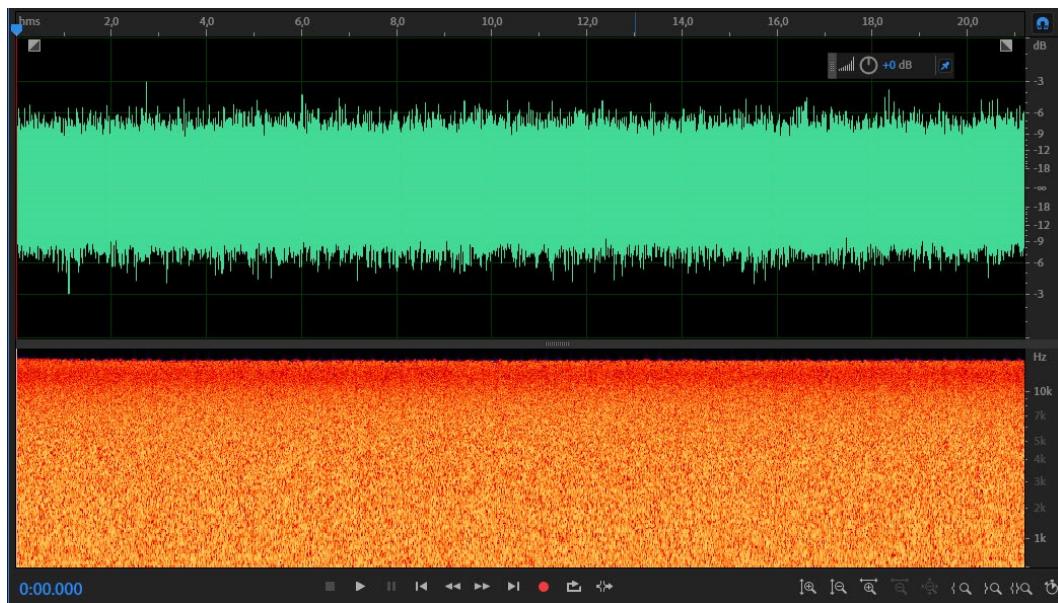


Abbildung 4. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Weißes Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

3. Methodik

Es ist zu sehen, dass in der Frequenzanalyse das weiße Rauschen von Kokoon, dem typischen weißen Rauschen entspricht (Ebben et al., 2021). So enthält das Rauschen alle Frequenzen des hörbaren Schallspektrums in gleichem Maße. Dadurch erstreckt es sich über mehrere Frequenzbänder. Als nächstes wird das braune Rauschen aus der Audiobibliothek *My Kokoon* analysiert.

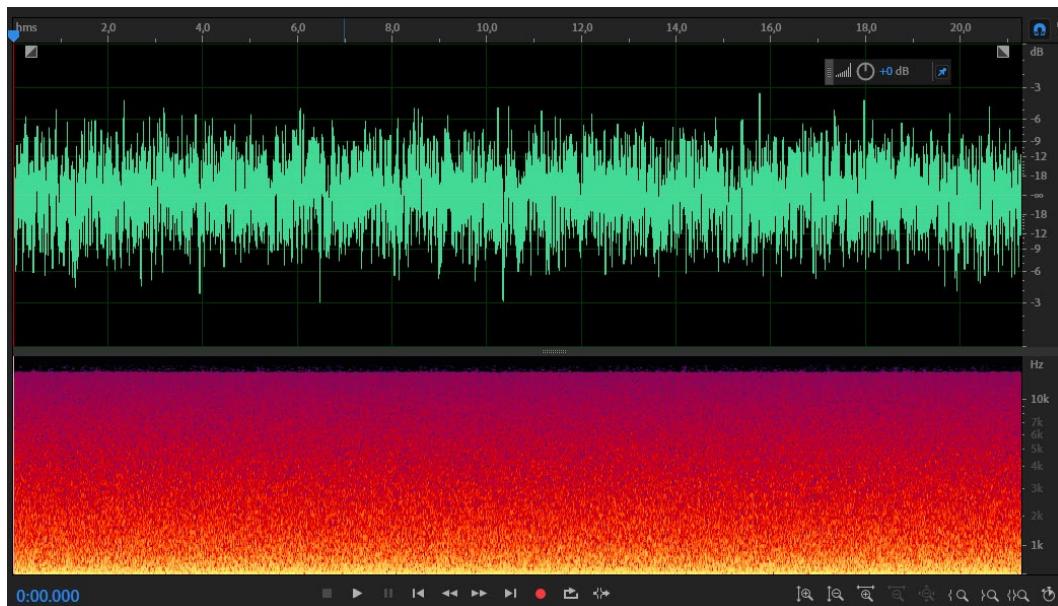


Abbildung 5. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Braunes Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

Die Frequenzanalyse von braunem Rauschen ergibt ein ähnliches Ergebnis wie das des weißen Rauschens, zu mindestens im Frequenzbereich. Der große Unterschied zwischen weißem und braunem Rauschen ist der Abfall von Leistung nach jeder Oktave. Deshalb wird braunes Rauschen auch vom menschlichen Gehör als tiefer empfunden als weißes Rauschen. Braunes Rauschen enthält Töne aus jeder Oktave des Klangspektrums und der Abfall zwischen jeder Oktave ist doppelt so groß wie der des rosa Rauschens. Das im nächsten Abschnitt untersucht wird.

3. Methodik

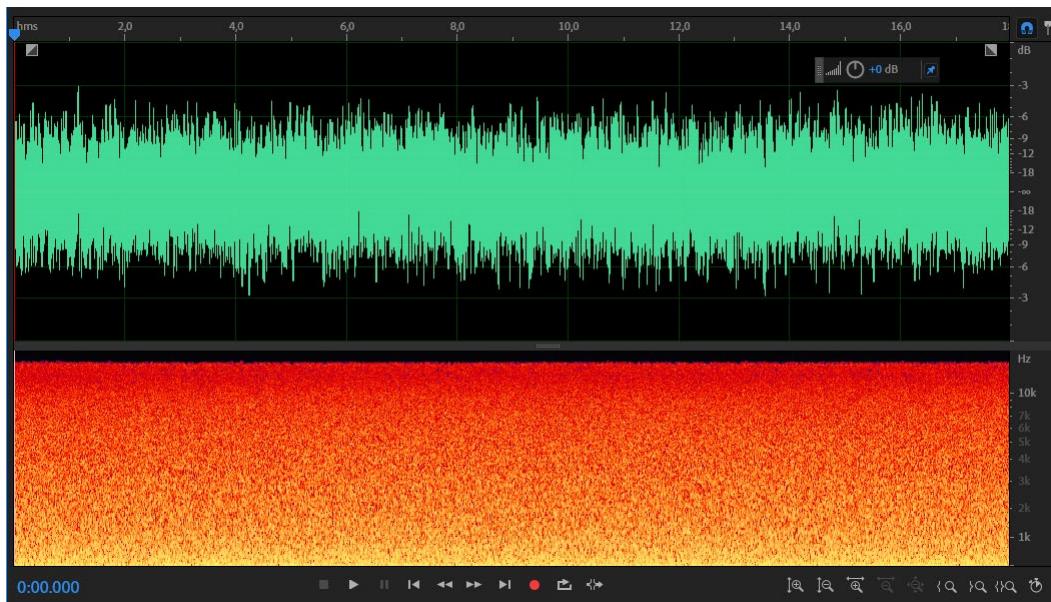


Abbildung 6. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Rosa Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

Wie weißes und braunes Rauschen enthält rosa Rauschen alle Frequenzen des hörbaren Klangspektrum Es beinhaltet Töne von jeder Oktave, aber die Leistung nimmt mit jeder höheren Oktave um 3 Dezibel (dB) ab. Deshalb klingt es zwar höher als das braune Rauschen, aber tiefer als das weiße Rauschen. Das folgende Audiotrck namens *Beach Waves* entfernt sich von den vorigen drei Stücken und wird in der Applikation *My Kokoon* mit einem Meeresbild abgebildet. Der Titel des Stückes bedeutet Strandwellen. *Beach Waves* ist kein buntes Rauschen, sondern eine reale Aufnahme einer Umgebung, unter anderem eines Ortes am Meer.

3. Methodik

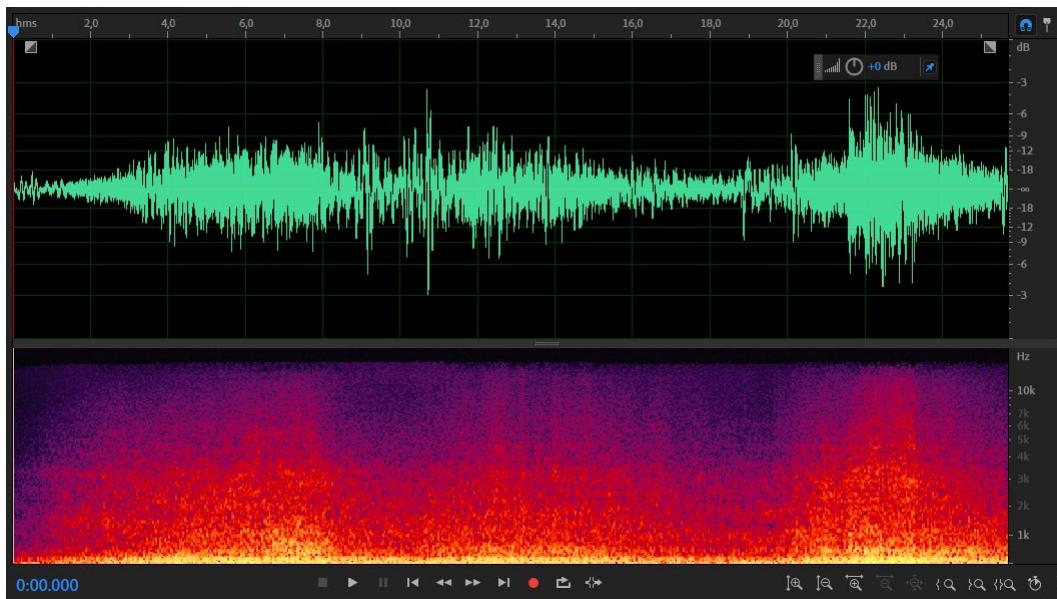


Abbildung 7. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Beach Waves“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

In dem Stück *Beach Waves* sind Aufnahmen auf dem Strand aufgezeichnet die einem rhythmischen Muster folgen. So sind ebenjene Stellen, die in ihren Pegel ansteigen, Stellen, an denen eine Welle näherkommt, bricht und sich dann mit dem Abfall der Dezibel wieder entfernt. Die Wellen erzeugen somit rhythmisches Phänomen der Dynamik. Zusätzlich zu den Wellen ist auch Wind zu hören, dass besonders in den höheren Frequenzen sichtbar ist. So wie oben erwähnt fallen diese Geräusche erneut unter die Kategorie Rauschen. Im nächsten Abschnitt handelt es sich erneut um eine reale Aufnahme in einer Umgebung.

3. Methodik

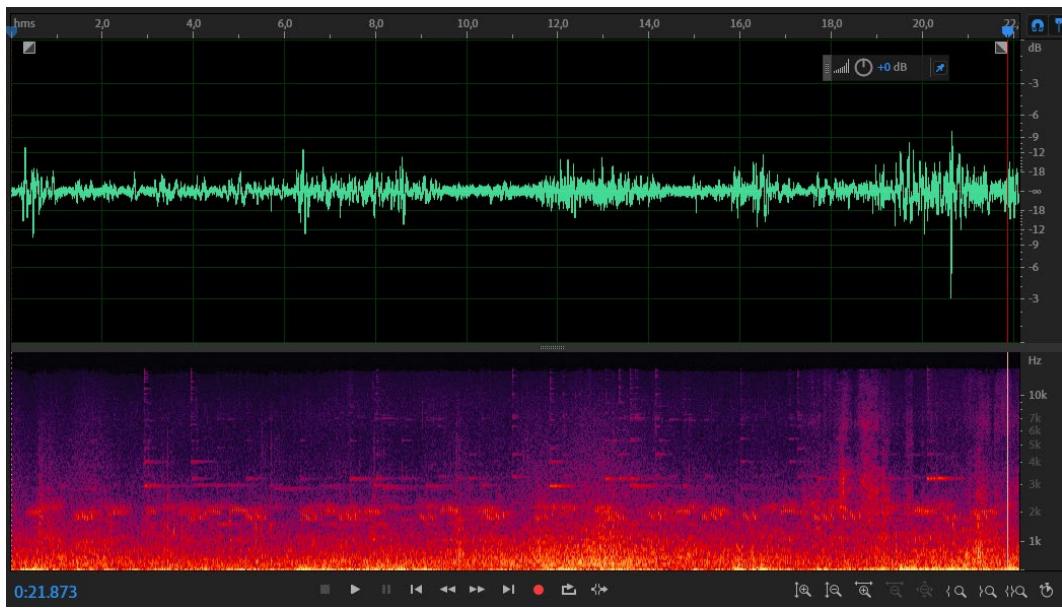


Abbildung 8. Ein Ausschnitt aus dem Stück Treehouse in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

Das Audiostück *Treehouse* bildet eine Szenerie im Wald ab. Zu hören sind vereinzelnde Tiergeräusche wie Frösche und ein Glockenspiel, dass in der Ferne läutet. Der Wind ist ein immer wiederkehrender Reiz, der sich durch dieses Audiostück zieht. In diesem Stück sind melodische Sequenzen, wie das Glockenspiel und die Frösche zu hören. Dadurch ergibt sich eine gewisse Melodie, die teilweise durch das Rauschen des Windes gebrochen wird. Folgend auf das Audiostück *Treehouse*, übersetzt auch Baumhaus genannt, kommt die Analyse des Stücks *Autumn Rain*. Dieses Stück bedeutet übersetzt Herbststagen.

3. Methodik

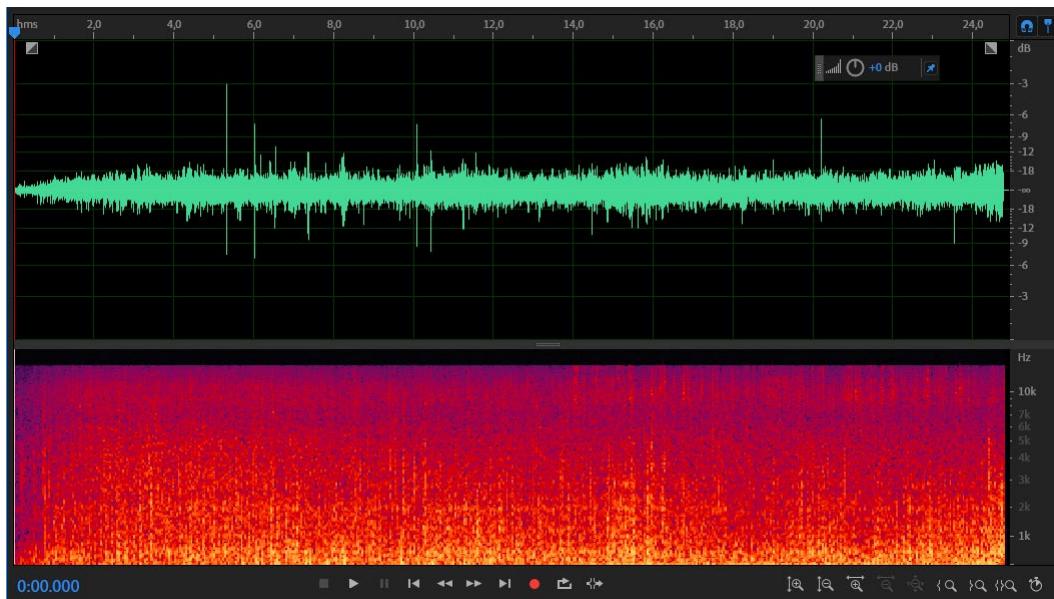


Abbildung 9. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Autumn Rain“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

Hierbei handelt es sich erneut um eine reale Aufnahme. Im Audiostück *Autumn Rain* trifft Regen auf einen harten Untergrund gefolgt von einem Bleistift, der auf Papier schreibt. Das rhythmische Element sind die Tropfen des Regens, die durch den rhythmischen Klang des Bleistiftes begleitet werden. Zusätzlich wird der Regen von dem Rauschen des Windes unterbrochen, wenn dieser zu stark weht. Das letzte Audiostück, dass zur Auswahl stand, trägt den Titel *Cabin*.

3. Methodik

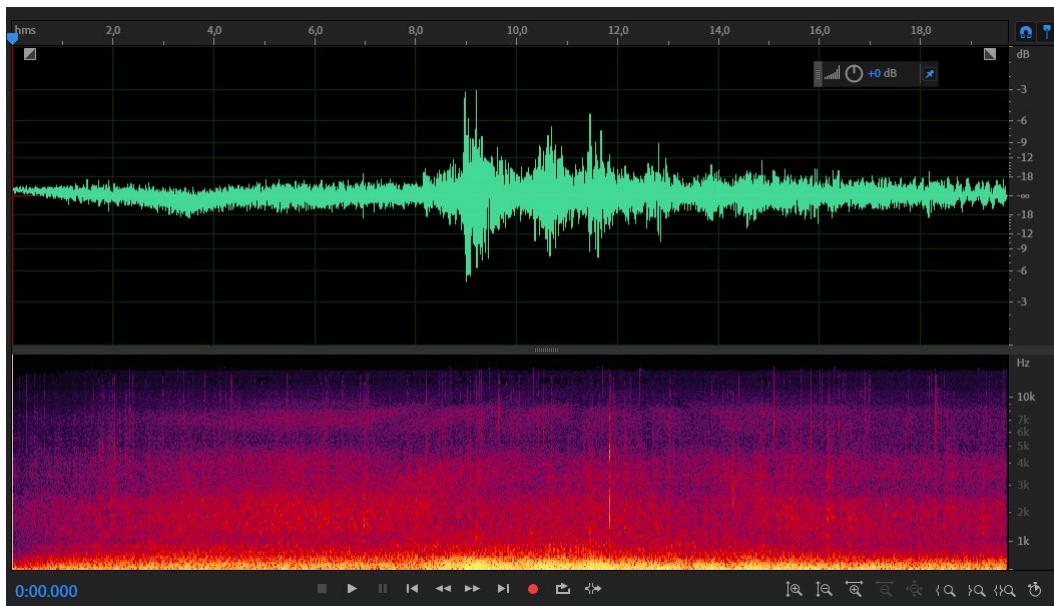


Abbildung 10. Ein Ausschnitt aus dem Stück Cabin in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).

In diesem Stück handelt es sich erneut um eine reale Aufnahme eines Ortes. Klanglich ist diese Aufnahme in der Nähe eines Feuers entstanden, dass durch knisternde Holzscheite vor sich hin brennt. Der Wind und eine Eisenbahn im Hintergrund weisen darauf hin, dass diese Aufnahme im Freien getätigter wurde.

3.4 Schlafüberwachung von der Applikation „My Kokoon“

Das sogenannte Schlaftracking funktioniert über einen optischen Herzfrequenzmesser, der in den Kopfhörern integriert ist. Dieser verfolgt die Schlafmuster über Nacht hinweg. Die Schlaftracking-Daten sind recht einfach gehalten und lassen sich nicht exportieren. So bietet Applikation *My Kokoon* die Möglichkeit den Schlaf zu analysieren, jedoch nicht diese Daten auszuwerten. Die Analyse teilt sich in Leicht-, Tief-, REM- und Wachphasen auf, ist jedoch nicht akkurat genug, um genauere Daten auszugeben. Es gibt eine Zeitleiste, um zu verfolgen, wann die einzelnen Schlafphasen aufgetreten sind, aber die Applikation gibt keine Hinweise darauf, ob die Versuchspersonen einen ausreichenden Teil der Nacht in jeder Phase verbracht haben. Zusätzlich zu den Schlafdaten, kann die Applikation in einem gewissen Zeitfenster messen und die Audiostücke nach

3. Methodik

einer gewissen Zeit abklingen lassen. Für diese Studie wurden die Audiodateien die ganze Nacht über abgespielt.

3.5 Relevante Fragebögen

Der *Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI) von Buysse (1989) wurde für den ersten Schlaffragebogen (SF-A) als Vorlage genommen. Deshalb bezieht sich der SF-A auf die letzten vier Wochen und soll der Versuchsleitung einen Überblick der Schlafgewohnheiten der Versuchspersonen geben. Der **Schlaffragebogen SF-A** besteht aus zehn Fragen:

1. Alter der Versuchsperson
2. Körpergröße der Versuchsperson
3. Gewicht der Versuchsperson
4. Geschlecht der Versuchsperson
5. Wann ist die Versuchsperson während der letzten vier Wochen gewöhnlich abends zu Bett gegangen? (übliche Uhrzeit)
6. Wie lange hat es während der letzten vier Wochen gewöhnlich gedauert, bis die Versuchsperson nachts eingeschlafen ist? (in Minuten)
7. Wann ist die Versuchsperson während der letzten vier Wochen gewöhnlich morgens aufgestanden? (übliche Uhrzeit)
8. Wie viele Stunden hat die Versuchsperson während der letzten vier Wochen pro Nacht tatsächlich geschlafen? (Das muss nicht mit der Anzahl der Stunden, die die Versuchsperson im Bett verbracht hat, übereinstimmen.)
9. Wie oft hat die Versuchsperson während der letzten vier Wochen schlecht geschlafen, weil die Versuchsperson mitten in der Nacht oder früh morgens aufgewacht sind? (Auswahlmöglichkeit)
10. Wie würde die Versuchsperson insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten vier Wochen beurteilen? (Auswahlmöglichkeit)

Diese Fragen wurden am Anfang der Studie ausgefüllt. Unter anderem damit ein individueller Zeitplan für die Versuchspersonen eingerichtet wird. Nach der Studie wurde ein zweiter Schlaffragebogen (SF-B) ausgefüllt in den fünf weiteren Fragen beantwortet werden müssen. Die Ergebnisse des Schlaffragebogens (SF-A) werden in der Auswertung mit den Antworten des Schlaffragebogens (SF-B) verglichen. Der **Schlaffragebogen SF-B** richtet sich nach der Studie auf die

3. Methodik

letzten zwei Nächte, in denen die Studie stattgefunden hat und wurde von der Versuchsleitung selbst entworfen. Die Fragen lauten:

1. Konnten die Versuchspersonen mit dem Sound und den Kopfhörern schneller einschlafen als ohne Kopfhörer?
2. Wie war der Tragekomfort der Kopfhörer?
3. Ist die Versuchsperson wegen der Kopfhörer in der Nacht öfters aufgewacht als ohne Kopfhörer?
4. Für welchen Sound hat sich die Versuchsperson entschieden?
5. Bei welcher Lautstärke ist die Versuchsperson eingeschlafen?

Die Fragebögen bieten einen direkten Vergleich des Schlafes zwischen den zwei Nächten in der Studie und des letzten Monats. Die Auswahlmöglichkeiten können mithilfe der Likert Skala übersetzt werden und für die Hypothesen verwendet werden.

4. Hypothese

4. Hypothese

4.1 Gedächtniskonsolidierung und Sound

H1: Die Gedächtniskonsolidierung von Wortpaaren erfährt durch akustische Reize während des Schlafes eine positive Veränderung im Vergleich zu einem Schlaf ohne akustische Reize.

Diese Hypothese wurde mithilfe der Ergebnisse aus der Merkaufgabe überprüft. Sowohl die Werte aus der Merkaufgabe am Morgen werden hierfür herangezogen als auch die Differenzen zwischen dem Ergebnis am Vorabend und Morgen. Überprüft wurden diese mit Hilfe von SPSS mittels einem T-Test, der auf ein Konfidenzintervall von 95% eingestellt wurde.

H2: Die Versuchsgruppe A hat schlechtere Wortpaarergebnissen als die Versuchsgruppe B.

Hierfür wurden die Proband*innen in ihre Versuchsgruppen unterteilt. Dadurch entstanden vier Werte für die Gruppe B und sechs Werte für die Gruppe A. Die unterschiedliche Größe der Gruppen ergibt sich daraus, dass die Gruppenunterteilung randomisiert abgelaufen ist (siehe 3.1). Diese Werte wurden danach einem T-Test bei einer unabhängigen Stichprobe unterzogen.

4. Hypothese

4.2 Subjektive Schlafqualität und Kopfhörer

Die Ergebnisse des SF-B wurden in SPSS mithilfe der Spearman Methode auf ihre Korrelation geprüft. Das Koeffizientensintervall wurde auf 95% eingestellt und die Angaben aus dem SF-B zum Tragekomfort, der Einschlafphase, der Lautstärke und der Unterbrechungen wegen den Kopfhörern während des Schlafes wurden in eine Likert Skala übertragen.

H3: Die Versuchspersonen empfinden...

H3.1: ... die Einschlafphase mit Kopfhörer als schneller, wenn der Tragekomfort der Kopfhörer besser ist.

H3.2: ... den Tragekomfort der Kopfhörer angenehmer umso leiser die Lautstärke der Kopfhörer ist.

H3.3: ... die Einschlafphase mit Kopfhörer langsamer, wenn die Lautstärke der Kopfhörer lauter ist.

H3.4: ... einen schlechteren Tragekomfort der Kopfhörer in positiven Zusammenhang mit den Schlafunterbrechungen.

H3.5: ... bei einer verlangsamten Einschlafphase mit Kopfhörern eine erhöhte Schlafunterbrechung mit Kopfhörern.

5. Ergebnisse

5. Ergebnisse

5.1 Gedächtniskonsolidierung und akustische Reize

Um einen Unterschied zwischen den Wortpaarergebnissen mit und ohne akustische Reize während des Schlafens zu untersuchen, werden die Messergebnisse herangezogen. Aus Tabelle 2 kann abgelesen werden, dass der Mittelwert der Ergebnisse nach der Gedächtniskonsolidierung ohne Soundstimulation um **1.16% höher** ist als die Ergebnisse vor der Gedächtniskonsolidierung. Im Gegensatz zu dem Ergebnis, dass nach der Gedächtniskonsolidierung und Soundstimulation berechnet wurden. Dieses ist eine **Reduktion von 0.33%** zu dem Ergebnis vor der Gedächtniskonsolidierung und Soundstimulation. Vergleicht man die Ergebnisse untereinander wird ersichtlich, dass trotz der Reduktion der Mittelwert nach der Gedächtniskonsolidierung mit Soundstimulation um 0.58% höher ist als der ohne Soundstimulation.

Tabelle 2. Mittelwerte, Standardabweichung und Range der unterschiedlichen Wortpaarergebnisse.

Wortpaarergebnisse				
	N	M	SD	R
Ergebnisse vor dem Schlaf	10	60.10	18.47	62
Ergebnisse nach dem Schlaf	10	60.80	20.10	67
Ergebnisse vor dem Schlaf und Soundstimulation	10	61.35	13.82	41
Ergebnisse nach dem Schlaf und Soundstimulation	10	61.15	12.57	36

5. Ergebnisse

Im nächsten Schritt wurde ein T-Test durchgeführt, um die Hypothese zu überprüfen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Wortpaarergebnissen mit und ohne akustische Reize während der Gedächtniskonsolidierung im Schlaf besteht. Der T-Test wurde auf ein alpha-Niveau von 0,05 eingestellt und überprüfte die Ergebnisse der zwei Wortpaaraufgaben nach der Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes.

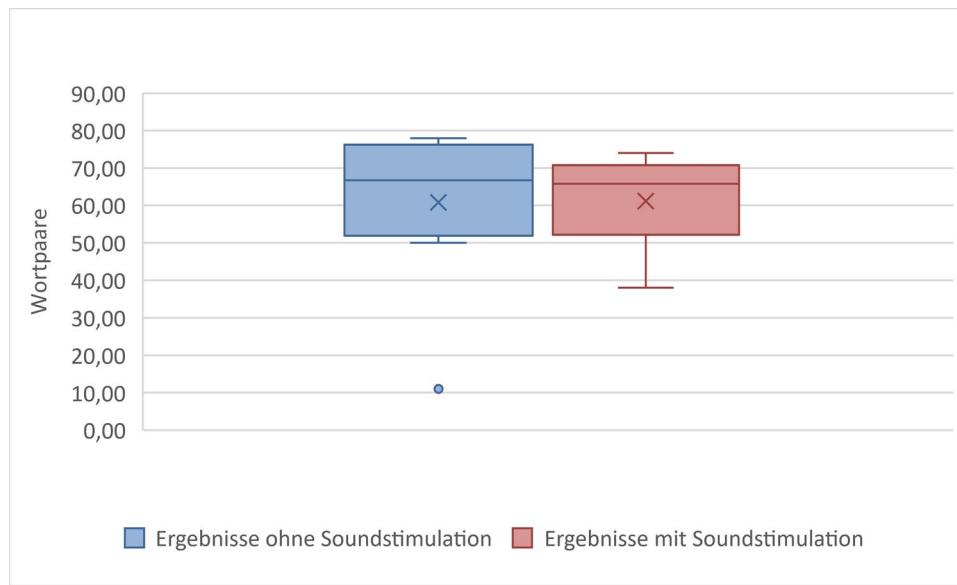


Abbildung 11. Ergebnisse von der morgendlichen Wortpaarüberprüfung ohne Soundstimulation (links) und mit Soundstimulation (rechts).

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Wortpaarergebnissen ohne akustische Reize oder mit akustischen Reizen:

5. Ergebnisse

Tabelle 3. T-Test mit den unterschiedlichen Ergebnissen des morgendlichen Wortpaarabruftes. T-Wert (T), Freiheitsgrade (df) und Signifikanz (Sig.).

		T	df	Sig. (2-seitig)
Paaren 1	MorgenohneSound - MorgenmitSound	-,070	9	,946

Da es sich um eine gerichtete Hypothese handelt wird die berechnete Signifikanz einseitig behandelt: $t(9) = -.07$, $p=.47$. Somit wird auf die Nullhypothese zurückgegriffen, die besagt, dass die Merkfähigkeit der Versuchspersonen durch eine externe Soundquelle nicht positiv verändert wird. Zusätzlich dazu wurden die Differenzen der Ergebnisse zwischen den abendlichen und den morgendlichen Wortpaaraufgaben mittels T-Test verglichen.

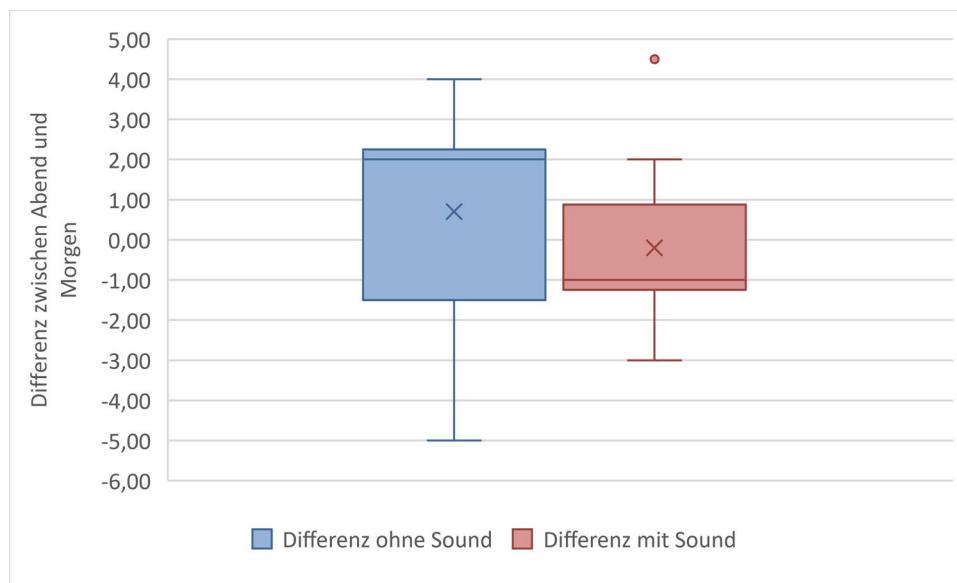


Abbildung 12. Differenzen von der Wortpaarüberprüfung am Morgen und am Abend ohne Soundstimulation (links) und mit Soundstimulation (rechts).

5. Ergebnisse

Die Differenzen zwischen den Ergebnissen am Vorabend und den Ergebnissen am Morgen, nach dem Schlaf, wurden genauso wie oben einem T-Test bei gepaarten Stichproben unterzogen. Hierbei wurde erneut keine Signifikanz festgestellt, $t(9) = 0.87, p = .20$. Somit wird auch bei dieser Analyse auf die Nullhypothese zurückgegriffen: Es besteht kein signifikant positiver Unterschied zwischen den Differenzen mit Soundstimulation und der ohne Soundstimulation.

Des Weiteren konnten die Versuchspersonen in die zwei Gruppen (A und B) unterteilt werden, in denen sie auch die Studie durchgeführt haben. Die Gruppe A hat in der ersten Nacht mit Sounds geschlafen und in der zweiten ohne Sounds. Die Gruppe B vice versa. Die Ergebnisse der zwei Gruppen wurden verglichen und einem weiteren T-Test unterzogen. Hierbei handelt es sich um die Ergebnisse der Wortpaaraufgabe am Morgen nach der Frequenzstimulation.

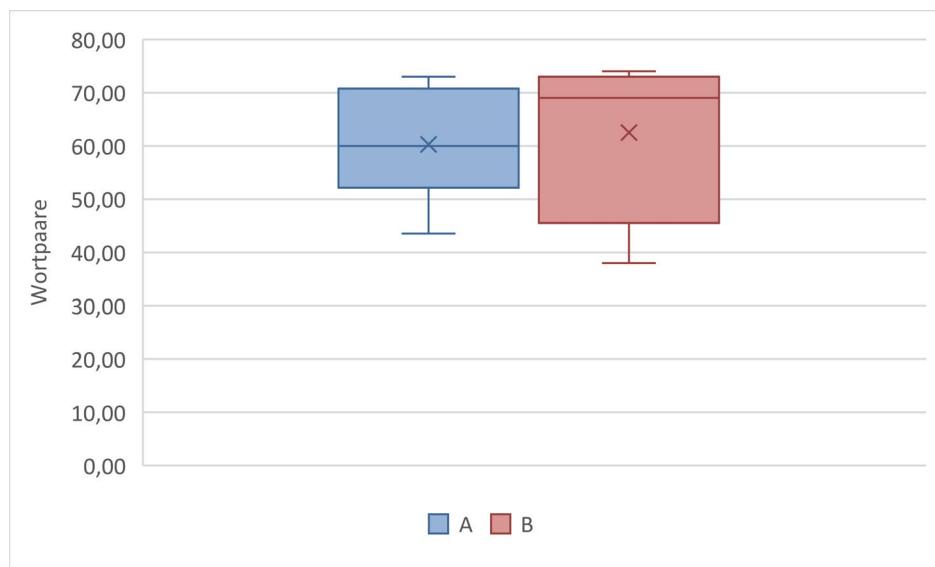


Abbildung 13. Wortpaarergebnisse der Gruppe A (links) und der Gruppe B (rechts).

Der p-Wert des Levene Tests der Varianzgleichheit liegt bei 0.426 (42,6%), weshalb die Varianzhomogenität bei einem Signifikanzniveau von 5% gegeben ist. Weiteres wurden die Werte einem T-Test bei einer unabhängigen Stichprobe unterzogen: $t(8) = -0.26, p = .4$. Es ist zu sehen, dass der T-Test einen p-Wert von 0.4 aufweist. Somit wird hier auf die Nullhypothese zurückgegriffen: Es gibt keinen Unterschied zwischen den Wortpaarergebnissen während Frequenzstimulation für die Versuchsgruppen A und B.

5. Ergebnisse

5.2 Subjektive Schlafqualität und Kopfhörer

Die Versuchspersonen haben im SF-B mithilfe einer Skala, die angelehnt an der Likert Skala ist auswählen können, wie angenehm das Tragen der Kopfhörer ist. (1 = angenehm, ... 5 = unangenehm). Der Graph unterhalb zeigt die Anzahl der Antworten und die dazu gegebene Antwort. So haben 7 der 10 Versuchspersonen angegeben das Tragen der Kopfhörer als etwas unangenehm zu empfinden.

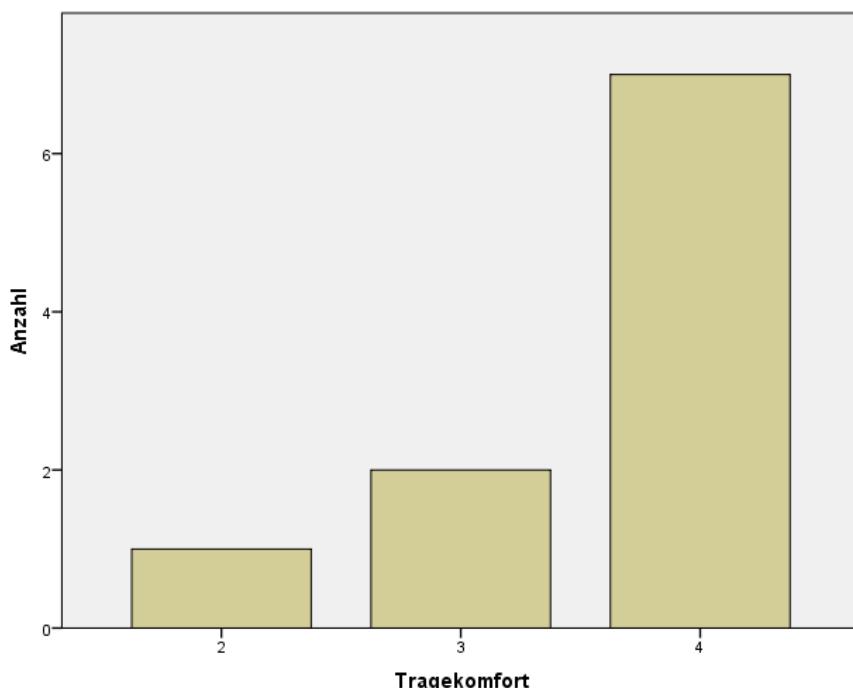


Abbildung 13. Einschätzung des subjektiven Tragekomforts der Kopfhörer für die Versuchspersonen (2 = etwas angenehm, 3 = weder noch, 4 = etwas unangenehm) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).

Zusätzlich wurden die Versuchspersonen befragt, ob sie mithilfe der Kopfhörer schneller eingeschlafen sind als ohne Kopfhörer. Hierbei wurde wieder in Form der Likert Skala bewertet (1 = schneller, 5 = langsamer). Wie auf dem Graph unterhalb zu sehen ist sind 6 der 10 Versuchspersonen etwas langsamer eingeschlafen als ohne Kopfhörer.

5. Ergebnisse

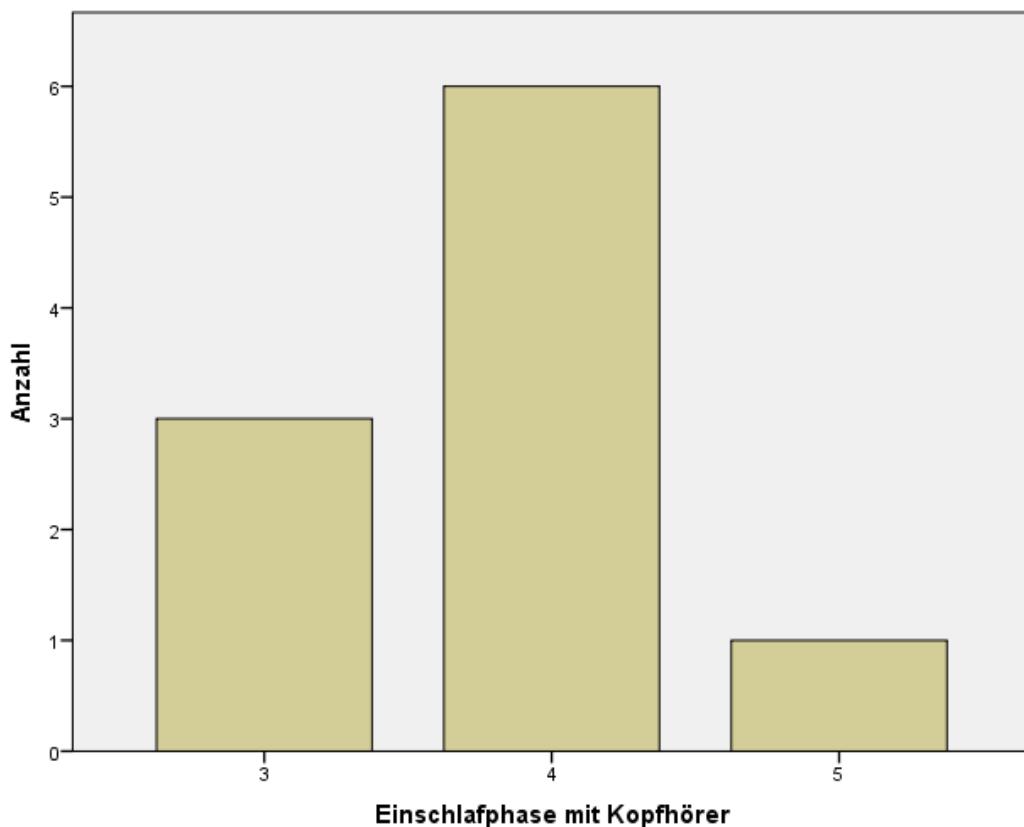


Abbildung 14. Einschätzung der subjektiven Einschlafphase mit Kopfhörern (3 = weder noch, 4 = etwas langsamer, 5 = langsamer) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).

Um den Zusammenhang zwischen dem Tragekomfort der Kopfhörer und der Einschlafphase mit Kopfhörern zu überprüfen, wurde eine Spearman Korrelation durchgeführt. Es zeigt sich, dass ein schlechterer Tragekomfort signifikant die Einschlafphase negativ beeinflusst ($r = .553, p = .049$). Der berechnete Korrelationskoeffizient wird in der Interpretation als stark positiver Zusammenhang gelesen. Weiteres soll überprüft werden, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Tragekomfort (Abb. 14) und der gewählten Lautstärke gibt. Hierfür werden die Ergebnisse des SF-B ausgewertet und in die Likert Skala übertragen. Hierbei ergeben sich zwei Antworten, die getroffen wurden. 5 der 10 Versuchspersonen haben auf mittlerer Lautstärke gehört die anderen 5 auf leiser Lautstärke (3 = mittel, 4 = leise).

5. Ergebnisse

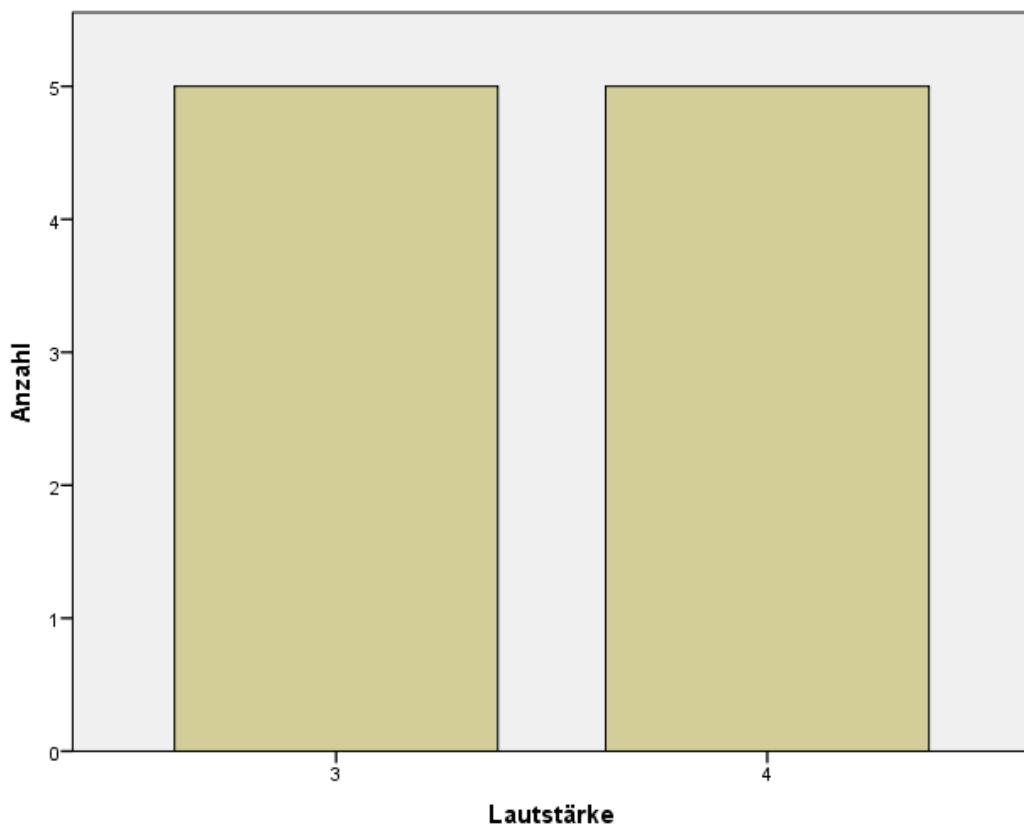


Abbildung 15. Vermerkte Lautstärke auf dem Smartphone (3 = mittel, 4 = eher leise) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).

Die Hypothese, dass es zwischen der Lautstärke und dem Tragekomfort der Kopfhörer ein negativer Zusammenhang besteht kann nicht bestätigt werden: $r = .258, p = .236$. Somit muss hier auf die Nullhypothese zurückgegriffen werden, die besagt, dass keine Korrelation zwischen den zwei Werten besteht.

Untersucht wurde auch der Zusammenhang zwischen der auf dem Smartphone eingestellten Lautstärke und der subjektiven Einschlafphase mit Kopfhörern: $r = -.677, p = .016$. Hierbei konnte mittels Spearman Korrelation ein signifikant negativer Zusammenhang gefunden werden. Somit ist die Einschlafphase aus subjektiver Sicht langsamer, wenn die Lautstärke lauter eingestellt ist. Zusätzlich konnten die subjektiven Schlafunterbrechungen durch die Kopfhörer während des Schlafes ausgewertet werden. Die Ergebnisse daraus wurden in Likert Skala Items umgewandelt. Dadurch kann man sie in Zusammenhang mit den anderen Ergebnissen setzen.

5. Ergebnisse

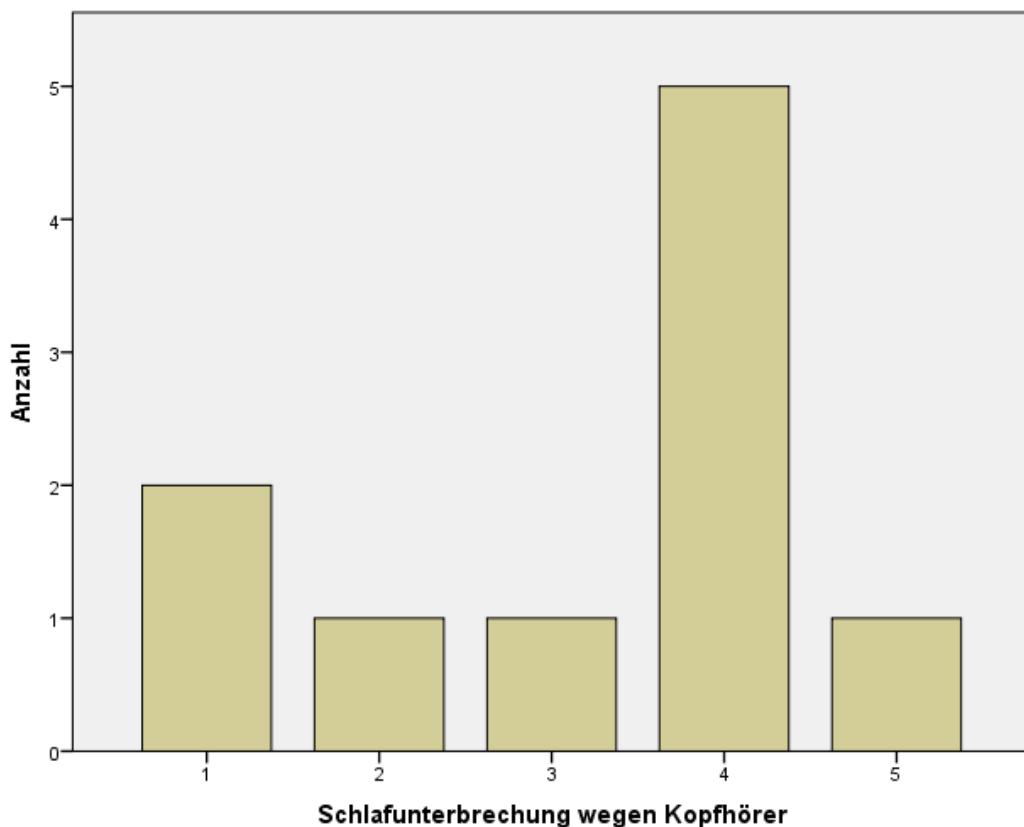


Abbildung 16. Ergebnisse der subjektiven Schlafunterbrechungen wegen der Kopfhörer (1 = kaum, 2 = etwas, 3 = weder noch, 4 = ein wenig, 5 = oft) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).

Für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Schlafunterbrechungen wegen der Kopfhörer und dem Tragekomfort besteht laut Spearman Korrelation kein signifikanter Zusammenhang: $r = .385$, $p = .136$. Somit wurde auf die Nullhypothese zurückgegriffen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Schlafunterbrechungen wegen der Kopfhörer und dem Tragekomfort besteht.

Zuletzt wurde die Hypothese H6.5 überprüft. Diese besagt, dass es eine negative Korrelation zwischen den Schlafunterbrechungen wegen der Kopfhörer und der Einschlafphase mit Kopfhörern gibt. Hierbei ergibt eine Spearman Korrelation erneut keine Signifikanz der Hypothese: $r = .248$, $p = .245$. Deshalb wurde auch hier auf die Nullhypothese zurückgegriffen, dass es keine Korrelation gibt.

6. Diskussion

Das Ziel dieser Masterarbeit war eine Analyse der Auswirkungen von akustischen Reizen während des Schlafes auf eine deklarative Gedächtnisaufgabe. Unter genauer Auswertung der Wortpaarergebnisse sollte herausgefunden werden, ob sich akustische Reize positiv auf die Merkfähigkeit der Versuchspersonen auswirken. Die Ergebnisse sind vorerst nicht signifikant genug, um eine Hypothese dazu aufzustellen. Im Vergleich zu dieser Studie lieferte Papalambros et al. (2017) positive Ergebnisse bei induzierter Soundstimulation (rosa Rauschen) während *Slow Wave* Schlafphasen. Die Unterschiede zu dieser Studie waren vorrangig das Alter der Versuchspersonen und die Induktion der Soundwellen während des Schlafes. In der vorliegenden Masterarbeit wurden die akustischen Reize während aller Schlafphasen abgespielt. Ein gezieltes Abspielen der akustischen Reize, während der *Slow Wave* Schlafphasen bei jungen Erwachsenen wäre ein nächster Schritt für diese Arbeit. Jedoch wäre dies nur möglich, wenn es Schlaftechnologie gibt, die akustische Reize ambulant induzieren kann, während sich die Versuchspersonen in bestimmten Schlafphase befinden (Ko et al., 2015). Weiteres liefert Wang L et al. (2022) Befunde, die zeigen, dass bestimmte Audiostücke, wie *Binaural Beats*, das Arbeitsgedächtnis steigern können. In dieser Arbeit gab es eine Vorauswahl der Audiostücke, die von den Versuchspersonen genutzt wurden. Diese Vorauswahl hätte bei einer Stichprobe von 10 Versuchspersonen kleiner ausfallen können, beziehungsweise die Stichprobe hätte mindestens 15 Versuchspersonen pro Audiostück einbeziehen müssen, um hier statistisch relevante Ergebnisse zu erzielen (Hemmerich, W. 2016). Unter diesen Voraussetzungen hätten die einzelnen Audiostücke untereinander verglichen werden können. In dieser Masterarbeit waren die beiden Stücke *Beach Waves* und *Treehouse* am beliebtesten und wurden jeweils von 3 der 10 Versuchspersonen ausgewählt. Außerdem wurden *Autumn Rain*, *Cabin* und *Brown Noise Kokoon* von den weiteren Versuchspersonen ausgewählt. *White Noise* und *Pink Noise* von *Kokoon* wurden von keiner Versuchsperson ausgewählt. Folgestudien könnten untersuchen, warum gewisse Audiostücke subjektiv beruhigender sind als andere Audiostücke. Zusätzlich machen Heenam Yoon und Hyun Jae Baek (2022) mit ihren Befunden in der klinischen Schlafforschung darauf aufmerksam, dass es kaum Studien zu ASMR und Schlaf gibt. Unter ASMR versteht man eine autonome sensorische Meridianreaktion, die ein angenehmes Gefühl auf der Haut auslösen

6. Diskussion

kann. Dieses Gefühl wird von vielen Menschen als entspannend wahrgenommen und über bestimmte audiovisuelle Reize ausgelöst (Yoon & Baek, 2022).

6.1 Geschlechterspezifische Gedächtnisforschung

Zusätzlich liefern Befunde von Unterschieden zwischen dem weiblichen und männlichen Gehirn (Zaidi Z, 2010). Hier wäre für diese Masterarbeit interessant gewesen, ob es Unterschiede der Wortpaarergebnisse zwischen den weiblichen und den männlichen Versuchspersonen gibt. Bremner JD et al. (2001) haben mit Ihren Befunden festgestellt, dass es in der grundsätzlichen Verarbeitung im Gehirn Unterschiede gibt, jedoch im Abrufen der Wortpaare keine. Wiederum im Gegensatz zu den Befunden von Zaidi Z (2010) setzen sich Dylan S. Spets et al. (2021) mit den geschlechterspezifischen Unterschieden des Langzeitgedächtnisses auseinander. Ihre Ergebnisse legen nahe, dass eine geschlechtsübergreifende Betrachtung in der Langzeitgedächtnisforschung nicht gerechtfertigt ist. Dennoch ist die Forschungslage zu geschlechterspezifischen Gedächtnisforschung mit akustischen Reizen sehr gering. Dadurch können die vorliegenden Ergebnisse bei Fortführung der Studie auf einen längeren Zeitraum ergänzt werden. Bei einer Erweiterung der Stichprobegröße auf mindestens 30 Versuchspersonen pro Geschlecht kann eine Unterteilung in Geschlechtern vorgenommen werden (Hemmerich, W. 2016).

6.2 Subjektive Wahrnehmung

Die Hypothese H3.1 konnte aufzeigen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen dem Tragekomfort der Kopfhörer und der Einschlafphase mit Kopfhörern gibt. So wurde bestätigt, dass ein besserer Tragekomfort der Schlaftechnologie mit einer schnelleren subjektiven Wahrnehmung der Einschlafphase zusammenhängt. Dies haben auch Heenam Yoon und Hyun Jae Baek (2022) mit ihren Befunden zur, Schlaftechnologie als Alternative zu Medikamenten oder kognitiven Verhaltenstherapien, herausgefunden. Sie merken zusätzlich an, dass es im Bereich der ambulanten Schlafforschung zu wenige Studien gibt. Besonders oft werden hierfür Schlaftagebücher und keine standardisierten Fragebögen verwendet. Im Vergleich zu Schlaftagebüchern hat ein *Market Research Report* zu dem Thema Schlaftechnologie im Jahr 2015 eine Umfrage mit 1029 Erwachsenen

6. Diskussion

veröffentlicht. In dieser Umfrage wurde unter anderem auf die wichtigsten Attribute der Schlaftechnologien eingegangen. Auf Platz eins der wichtigsten Attribute lag mit über 70% der Tragekomfort der Schlaftechnologie. In der subjektiven Wahrnehmung dieser Masterarbeit haben die Versuchspersonen die *Nightbuds* von der Firma *Kokoon* als Hindernis gegenüber dem Schlaf empfunden. 7 von 10 der Versuchspersonen haben angegeben das Tragen der Kopfhörer als etwas unangenehm zu empfinden. 6 von 10 konnten wiederrum etwas langsamer einschlafen als ohne Kopfhörer. Zusätzlich zeigen die vorliegenden Befunde einen negativen Zusammenhang zwischen der eingestellten Lautstärke und der subjektiv empfundenen Einschlafphase.

Die weiteren Hypothesen der subjektiven Schlafwahrnehmung konnten in keinen Zusammenhang gesetzt werden. Dies könnte möglicherweise daran liegen, dass zu wenige Daten erhoben wurden. Außerdem soll noch angemerkt werden, dass die Versuchspersonen vorher keinen Kontakt mit Schlaftechnologien hatten. Ob sich dies auf die Studie ausgewirkt hat, kann nicht bestätigt werden. Hierfür können die Ergebnisse aus der vorliegenden Studie verwendet werden, um sie mit Ergebnissen einer Studie zu vergleichen mit einem ähnlichen Studiendesign und Versuchspersonen die regelmäßig Schlaftechnologie verwenden.

6.3 Limitationen

Die Studienlage zu Rauschen während des Schlafes zeigt vermehrt, einen positiven Effekt für die Schlafqualität auf. So wurde mithilfe von Binauralen Beats das Arbeitsgedächtnis gesteigert (Lovati et al., 2019) oder mit weißem Rauschen ein lautes Umfeld maskiert (Ebbin et al., 2021; Forquer & Johnson, 2005). Studien zu den Zusammenhängen zwischen Geräuschkulissen (Zirpen von Grillen, Lagerfeuer, Heulen des Windes, etc..) und Schlaf gibt es jedoch kaum. Trotz der steigenden Konsumentenanwendungen gerade im Smartphone Bereich (Ko et al., 2015). Ausgehend von der Entwicklung von Schlaftechnologien wird es in nächster Zeit verbreitet bessere und akkurate Geräte geben. Die Auswertung der Daten über die Applikation *My Kokoon* war zu dem Zeitpunkt dieser Arbeit nicht möglich. Zusätzlich konnte die Applikation den Schlaf von Versuchspersonen aufzeichnen und darstellen, jedoch nicht wiedergeben in welchen Schlafphasen sich die Versuchspersonen befinden. Ein sogenanntes *Black Box* Phänomen der Applikation. In der Auswertung der Schlafzeitleiste von *My Kokoon*, einer der wenigen Datensätze der Applikation, konnte festgestellt werden, dass einige der Zeitleisten unterschiedlicher Versuchspersonen identisch waren. Dies deutet darauf hin, dass die Applikation den Schlaf nicht ausreichend aufzeichnen kann. Außerdem ist anzumerken, dass sehr laute externe Reize mithilfe der Kopfhörer nur minimal zu maskieren sind. Eine Versuchsperson konnte selbst mit dem Tragen der Kopfhörer und dem Maskieren der externen Einflüsse nur verspätet einschlafen. Dies lag vor allem daran, dass direkt vor dem Haus Bauarbeiten stattgefunden haben. Zusätzlich sollte noch erwähnt werden, dass die Versuchsleitung keinen Einfluss auf das Tagesgeschehen der Versuchspersonen hatte und somit andere Faktoren auf diese Arbeit einwirken können. Beispielsweise, Stress einer Versuchsperson, weil diese am nächsten Tag in die Arbeit fahren muss.

Eine weitere Einschränkung war die Stichprobengröße. Um einen ausreichenden Gruppenvergleich durchzuführen hätte es mehr als 10 Versuchspersonen gebraucht. Für aussagekräftige Ergebnisse mit hoher statistischer *Power* hätte es eine Stichprobengröße von mindestens 30 Versuchspersonen pro Gruppe gebraucht (Hemmerich, W. 2016). Diese Anzahl konnte aufgrund des aufwendigen Studiendesigns und der limitierten finanziellen Mittel nicht aufgestellt werden. Außerdem sollten die Versuchspersonen so gut wie kein Näheverhältnis zu der Versuchsleitung haben. Da dies unter anderem die Studie subjektiv beeinflussen kann.

6.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit legen nahe, dass es keinen Unterschied zwischen Gedächtniskonsolidierung mit und ohne akustische Reize während des Schlafes gibt. Somit wurde mit den vorgelegten Befunden kein signifikanter Unterschied zwischen der Merkfähigkeit von den Versuchspersonen und dem Abspielen von akustischen Reizen während des Schlafes festgestellt. Die objektiven Parameter für die unterschiedlichen Schlafphasen konnten aufgrund der zugehörigen Applikation der Kopfhörer nicht ausgewertet werden. Für eine zukünftige Analyse sollte unter anderem eine Schlaftechnologie in Betracht gezogen werden, die sowohl ambulant funktioniert als auch akustische Reize während spezieller Schlafphasen induzieren kann. Des Weiteren weisen die subjektiven Ergebnisse auf den positiven Zusammenhang zwischen dem Tragekomfort der Kopfhörer und der Einschlafphase mit Kopfhörern hin. Deshalb wird in Zukunft besonders im Konsumentenbereich der Schlaftechnologie, ein Fokus, auf den Tragekomfort der Geräte liegt. Ebenso konnte ein negativer Zusammenhang zwischen eingestellter Lautstärke und Einschlafphase mit Kopfhörern nachgewiesen werden. Dadurch könnte eine zukünftige Studie zur empfohlenen Lautstärke von Audiostücken während des Schlafes hilfreich für die Konsumenten sein.

Literaturverzeichnis

- al Muhammed, K. M. (2022). Hopkins studies in history of artificial intelligence: perception and sensation. *Authorea*. <https://doi.org/10.22541/au.166420184.43514746/v1>
- Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006a). Sleep to remember. In *Neuroscientist* (Vol. 12, Issue 5, pp. 410–424). <https://doi.org/10.1177/1073858406292647>
- Born, J., Rasch, B., & Gais, S. (2006b). Sleep to remember. *Neuroscientist*, 12(5), 410–424. <https://doi.org/10.1177/1073858406292647>
- Chinoy, E. D., Cuellar, J. A., Huwa, K. E., Jameson, J. T., Watson, C. H., Bessman, S. C., Hirsch, D. A., Cooper, A. D., Drummond, S. P. A., & Markwald, R. R. (2021). Performance of seven consumer sleep-tracking devices compared with polysomnography. *SLEEP*, 44(5). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa291>
- Cordi, M. J., Ackermann, S., & Rasch, B. (2019). Effects of Relaxing Music on Healthy Sleep. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45608-y>
- Debellemiere, E., Gomez-Merino, D., Erblang, M., Dorey, R., Genot, M., Perreaut-Pierre, E., Pisani, A., Rocco, L., Sauvet, F., Léger, D., Rabat, A., & Chennaoui, M. (2018). Using relaxation techniques to improve sleep during naps. *J-STAGE*, 220–227.
- Dickson, G. T., & Schubert, E. (2019). How does music aid sleep? *SLEEP Medicine*, 63, 142–150. <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2019.05.016>
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010a). The memory function of sleep. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 11, Issue 2, pp. 114–126). <https://doi.org/10.1038/nrn2762>
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010b). The memory function of sleep. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 11, Issue 2, pp. 114–126). <https://doi.org/10.1038/nrn2762>
- Dubey, P., Kumar, Y., Singh, R., Jha, K., & Kumar, R. (2019). Effect of music of specific frequency upon the sleep architecture and electroencephalographic pattern of individuals with delayed sleep latency: A daytime nap study. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8(12), 3915. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_575_19

- Ebben, M. R., Yan, P., & Krieger, A. C. (2021). The effects of white noise on sleep and duration in individuals living in a high noise environment in New York City. *Sleep Medicine*, 83, 256–259. <https://doi.org/10.1016/J.SLEEP.2021.03.031>
- Forquer, L. M., & Johnson, C. M. (2005). Continuous White Noise to Reduce Resistance Going to Sleep and Night Wakings in Toddlers. *Child & Family Behavior Therapy*, 27, 1–10.
- Forquer, L. M., & Johnson, C. M. (2007). Continuous white noise to reduce sleep latency and night wakings in college students. *Sleep and Hypnosis*, 9, 60–66.
- Görne, T. (2017). *Sounddesign: Klang Wahrnehmung Emotion*. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. <https://books.google.at/books?id=rOUIDwAAQBAJ>
- Hahn, M., Joechner, A. K., Roell, J., Schabus, M., Heib, D. P. J., Gruber, G., Peigneux, P., & Hoedlmoser, K. (2019). Developmental changes of sleep spindles and their impact on sleep-dependent memory consolidation and general cognitive abilities: A longitudinal approach. *Developmental Science*, 22(1). <https://doi.org/10.1111/desc.12706>
- Helfrich, R. F., Lendner, J. D., & Knight, R. T. (2021). Aperiodic sleep networks promote memory consolidation. In *Trends in Cognitive Sciences* (Vol. 25, Issue 8, pp. 648–659). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.04.009>
- Hoedlmoser, K., Peigneux, P., & Rauchs, G. (n.d.). Recent advances in memory consolidation and information processing during sleep. In *Journal of Sleep Research Journal of Sleep Research 1 Journal of Sleep Research Journal of Sleep Research* (Vol. 1).
- Hume, K. (2008). Sleep disturbance due to noise: Research over the last and next five years. *SLEEP: 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008*. http://www.icben.org/2008/PDFs/Hume_five_years.pdf
- Iwaki, T., Tanaka, H., & Hori, T. (2003). The Effects of Preferred Familiar Music on Falling Asleep. *Journal of Music Therapy*, 40(1), 15–26. <https://doi.org/10.1093/jmt/40.1.15>
- Ko, P. R. T., Kientz, J. A., Choe, E. K., Kay, M., Landis, C. A., & Watson, N. F. (2015). Consumer sleep technologies: A review of the landscape. In *Journal of Clinical Sleep Medicine* (Vol. 11, Issue 12, pp. 1455–1461). American Academy of Sleep Medicine. <https://doi.org/10.5664/jcsm.5288>
- le Scouarnec RP, P. R. O. J. G. J. T. A. F. P. (2001). Use of binaural beat tapes for treatment of anxiety. *Altern Ther Health Med*, 58–63.

- Lee, T., Moon, S. E., Baek, J., Lee, J. S., & Kim, S. (2019). Music for Sleep and Wake-Up: An Empirical Study. *IEEE Access*, 7, 145816–145828. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945404>
- Lovati, C., Freddi, A., Muzio, F., & Pantoni, L. (2019). Binaural stimulation in migraine: preliminary results from a 3-month evening treatment. *Neurological Sciences*, 40(1), 197–198. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-03803-9>
- Maquet, P. (n.d.). *The Role of Sleep in Learning and Memory*. www.sciencemag.org
- Maquet, P. (2001). The Role of Sleep in Learning and Memory. *Science*, 294, 1048–1051. www.sciencemag.org
- Oh, E., Kearns, W., Laine, M., Demiris, G., & Thompson, H. J. (2022). Perceptions of and Experiences with Consumer Sleep Technologies That Use Artificial Intelligence. *Sensors*, 22(10). <https://doi.org/10.3390/s22103621>
- Omlin, S., Bauer, G. F., & Brink, M. (2011). Effects of noise from non-traffic-related ambient sources on sleep: Review of the literature of 1990-2010. In *Noise and Health* (Vol. 13, Issue 53, pp. 299–309). <https://doi.org/10.4103/1463-1741.82963>
- Papalambros, N. A., Santostasi, G., Malkani, R. G., Braun, R., Weintraub, S., Paller, K. A., & Zee, P. C. (2017). Acoustic enhancement of sleep slow oscillations and concomitant memory improvement in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00109>
- Pilz, L. K., Keller, L. K., Lenssen, D., & Roenneberg, T. (2018). Time to rethink sleep quality: PSQI scores reflect sleep quality on workdays. *SLEEP*, 41(5). <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy029>
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About Sleep's Role in Memory. *Physiol Rev*, 93, 681–766. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2012.-Over>
- Shaughnessy, J. J., Zimmerman, J., & Underwood, B. J. (1974). The spacing effect in the learning of word pairs. *Memory & Cognition*, 2(4), 742–748. <https://doi.org/10.3758/BF03198150>
- Spencer, J. A. D., Moran, D. J., Lee, A., & Talbert, D. (1990). White noise and sleep induction. *Archives of Disease in Childhood*, 65(1), 135–137. <https://doi.org/10.1136/adc.65.1.135>
- Stansfeld Stephen, Haines Mary, & Brown Bernadette. (2000). Noise and Health in the Urban Environment. *Reviews on Environmental Health*, 15(1–2), 43–82. <https://doi.org/doi:10.1515/REVEH.2000.15.1-2.43>

The Authoritative Source for Consumer Technologies Market Research. (2015). *Consumer Awareness and Perceptions of Sleep Technology*.

Trahan, T., Durrant, S. J., Müllensiefen, D., & Williamson, V. J. (2018). The music that helps people sleep and the reasons they believe it works: A mixed methods analysis of online survey reports. In *PLoS ONE* (Vol. 13, Issue 11). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206531>

van de WATER, A. T. M., HOLMES, A., & HURLEY, D. A. (2011). Objective measurements of sleep for non-laboratory settings as alternatives to polysomnography – a systematic review. *Journal of Sleep Research*, 20(1pt2), 183–200. [https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00814.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00814.x)

Wang, L., Zhang, W., Li, X., & Yang, S. (2022). The Effect of 40 Hz Binaural Beats on Working Memory. *IEEE Access*, 10, 81556–81567. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185257>

Wixted, J. T. (2004a). The Psychology and Neuroscience of Forgetting. *Annual Review of Psychology*, 55(1), 235–269. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141555>

Wixted, J. T. (2004b). The Psychology and Neuroscience of Forgetting. *Annual Review of Psychology*, 55(1), 235–269. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141555>

Yoon, H., & Baek, H. J. (2022). External Auditory Stimulation as a Non-Pharmacological Sleep Aid. In *Sensors* (Vol. 22, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s22031264>

Zaidi, Z. F. (2010). Gender Differences in Human Brain: A Review. In *The Open Anatomy Journal* (Vol. 2).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Yoon und Baek (2022) haben in ihren Befunden simulierte farbige Rauschsignale und ihre Spektrogramme dargestellt: a) weißes Rauschen, b) braunes Rauschen, c) rosa Rauschen. Die Leistungsdichte der jeweiligen Rauschsignale ist durch das Spektrogramm unterhalb jedes Signales zu erkennen. So ist braunes Rauschen auch im Spektrogramm visuell weniger dicht als das simulierte weiße Rauschen (Yoon & Baek, 2022).....	13
Abbildung 2. Ausschnitt von der Website der Firma „Kokoon“. Abgebildet ist die Auswahl der Audiostücke für den Schlaf und die Möglichkeit der Einstellungen des Zeitplanes für den Schlaf. Außerdem ist rechts im Hintergrund die absolute Zeit des Schlafes, Einschlafphase und die Aufwachzeit abgebildet.	18
Abbildung 3. Versuchsdesign. Die ambulante Studie mit deklarativen Gedächtnisaufgaben wurde bei den Teilnehmer*innen zu Hause durchgeführt. In beiden Nächten haben die Versuchspersonen nach der Gedächtnisaufgaben drei Stunden Pause, schlafen die Versuchspersonen 8 Stunden und haben eine halbe Stunde Aufwachphase vor dem Abruf der Wortpaare. Außerdem tragen sie in beiden Nächten Kopfhörer, wobei nur in der Experimentalnacht akustische Reize abgespielt werden. Vor dem Studiendurchlauf wurde der Schlaffragebogen SF-A ausgefüllt und danach der Schlaffragebogen SF-B.	23
Abbildung 4. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Weißes Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	25
Abbildung 5. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Braunes Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	26
Abbildung 6. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Rosa Rauschen Kokoon“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	27
Abbildung 7. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Beach Waves“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	28
Abbildung 8. Ein Ausschnitt aus dem Stück Treehouse in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	29

Abbildung 9. Ein Ausschnitt aus dem Stück „Autumn Rain“ in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	30
Abbildung 10. Ein Ausschnitt aus dem Stück Cabin in Adobe Audition analysiert und auf -3dB normalisiert (oben die Zeitleiste, rechts oben die Dezibel (dB) Anzeige und rechts unten die Frequenzanalyse).	31
Abbildung 11. Ergebnisse von der morgendlichen Wortpaarüberprüfung ohne Soundstimulation (links) und mit Soundstimulation (rechts).	37
Abbildung 12. Differenzen von der Wortpaarüberprüfung am Morgen und am Abend ohne Soundstimulation (links) und mit Soundstimulation (rechts). ...	38
Abbildung 14. Einschätzung des subjektiven Tragekomforts der Kopfhörer für die Versuchspersonen (2 = etwas angenehm, 3 = weder noch, 4 = etwas unangenehm) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl). 40	
Abbildung 15. Einschätzung der subjektiven Einschlafphase mit Kopfhörern (3 = weder noch, 4 = etwas langsamer, 5 = langsamer) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).	41
Abbildung 17. Vermerkte Lautstärke auf dem Smartphone (3 = mittel, 4 = eher leise) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).	42
Abbildung 18. Ergebnisse der subjektiven Schlafunterbrechungen wegen der Kopfhörer (1 = kaum, 2 = etwas, 3 = weder noch, 4 = ein wenig, 5 = oft) und Anzahl der Antworten der Versuchspersonen (Anzahl).	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Stichprobengröße, Mittelwert, Standardabweichung und Range von Alter, Körpergröße und Gewicht.....	20
Tabelle 2. Mittelwerte, Standardabweichung und Range der unterschiedlichen Wortpaarergebnisse.	36
Tabelle 3. T-Test mit den unterschiedlichen Ergebnissen des morgendlichen Wortpaarabruftes. T-Wert (T), Freiheitsgrade (df) und Signifikanz (Sig.).....	38

Internetquellenverzeichnis

Dr. Lee Bartel [Steve Wingfield & Hennie Bekker – Thema]. (2015, Februar 11). Drifting into Delta [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=riBDQHE0TpM>15