

# **Einfluss von Gleichgewichtstraining auf das Schlafverhalten bei älteren Erwachsenen**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Jonas Kobler**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät  
Abteilung Medizin  
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Prof. Dr. Wolfgang Taube

Betreuer  
Egger Sven  
Scherrer Selin

Rüthi, August 2024

## **Dank**

Mein Dank geht an alle Personen, welche mich zum einen auf meinem Weg während meines Studiums und zum anderen während des Schreibens der Masterarbeit unterstützt haben. Anfangen möchte ich mit meinen Betreuungspersonen Selin Scherrer und Sven Egger, welche mir sowohl im Labor bei den Messungen als auch beim Schreibprozess mit Rat und Tat zur Seite standen. Die unkomplizierte und kompetente Art vereinfachte mir den Prozess der Masterarbeit sehr. Besonders geschätzt habe ich die zeitnahen Rückmeldungen auf meine Mailanfragen und die ausführlichen Feedbacks zu meiner Arbeit.

Ein weiterer grosser Dank geht an meinen Arbeitgeber MS Sports AG, bei welchem ich zu 100 % angestellt bin und sowohl für die Messungen wie auch für den Schreibprozess problemlos Urlaub nehmen konnte. Vielen Dank auch an meine beiden Arbeitskollegen Simon Rohrer und Mauro Ruef, welche mir in dieser Zeit einen grossen Teil meiner Aufgaben abnahmen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Familie, welche mich in einer schwierigen familiären Zeit jederzeit unterstützte. Ein grosser Dank geht auch an meine Schwester Tanja Kobler für das Gegenlesen der Arbeit.

Auch an alle weiteren Personen, welche in die Arbeit involviert waren, hier aber nicht aufgeführt wurden, geht ein grosses Dankeschön.

## **Zusammenfassung**

**Einleitung.** Rund ein Drittel seines Lebens verbringt der Mensch mit Schlafen. Der Schlaf erfüllt wichtige Funktionen wie die Gedächtniskonsolidierung und die Immunabwehr. Besonders bei älteren Personen sind Schlafprobleme weit verbreitet. Durch den Schlafmangel steigt das Risiko für körperliche und mentale Erkrankungen. Die altersbedingten Veränderungen können sich ebenfalls negativ auf das Gleichgewicht auswirken. Studien konnten aufzeigen, dass durch unterschiedliche körperliche Aktivitäten die Schlafqualität signifikant verbessert werden konnte. Es bestehen jedoch kaum Untersuchungen, ob auch Gleichgewichtstraining zur Verbesserung der Schlafqualität bei älteren Erwachsenen genutzt werden kann. Diese Forschungslücke bildet das Forschungsinteresse der vorliegenden Untersuchung.

**Methode.** Die dreimonatige Längsschnittstudie wurde mit 35 Erwachsenen im Alter von 65 bis 85 Jahren durchgeführt. Zwischen den PRE- und POST-Tests absolvierte die Interventionsgruppe mindestens 30 Trainings, während die Kontrollgruppe ihren gewohnten Lebensstil weiterführte. Das Gleichgewicht wurde mittels Tandemstand sowie Kreiseltests auf der Kraftmessplatte gemessen. Die objektive Schlafqualität wurde durch Polysomnografie in einer Nacht zu Hause aufgezeichnet. Zur statistischen Auswertung diente eine Mixed ANOVA mit einem Within-Faktor (Zeitpunkt) und einem Between-Faktor (Gruppe) sowie deren Interaktionseffekt. Im Anschluss folgten t-Tests mit Tukey-Korrektur beziehungsweise Tukey post-hoc Tests.

**Resultate.** Bei allen vier Gleichgewichtstests fielen die Verbesserungen der Interventionsgruppe über die Zeit höher aus als in der Kontrollgruppe. Die Interaktionseffekte waren jedoch nicht signifikant. Die Untersuchung der Schlafkennwerte ergab, dass nach der Intervention keine signifikanten Verbesserungen bezüglich Latenzzeit beim Einschlafen, Schlafeffizienz und Tiefschlaf nachgewiesen wurde. Während in der Kontrollgruppe leicht positive Trends festgestellt wurden, zeigten sich in der Interventionsgruppe sogar entgegengesetzte Tendenzen.

**Diskussion und Schlussfolgerung.** Die Untersuchungsergebnisse lieferten keine Hinweise darauf, dass ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining die Schlafqualität von älteren Erwachsenen verbessern kann. Es wird davon ausgegangen, dass diese unerwarteten Resultate zur Schlafqualität mit den veränderten Temperaturen bei den POST-Messungen und den ausgebliebenen Gleichgewichtsverbesserungen zusammenhängen.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung / Theoretischer Hintergrund.....	5
1.1	Schlaf.....	5
1.2	Gleichgewicht.....	16
1.3	Zusammenhang von Bewegung, Gleichgewicht und Schlaf.....	21
1.4	Ziel und konkrete Fragestellung.....	23
2	Methode.....	24
2.1	Untersuchungsgruppe.....	24
2.2	Untersuchungsdesign .....	25
2.3	Datenerhebung .....	26
2.4	Untersuchungsinstrumente .....	28
2.5	Gleichgewichtsintervention.....	29
2.6	Datenanalyse .....	30
3	Resultate.....	34
3.1	Gleichgewicht.....	34
3.2	Schlafqualität.....	39
4	Diskussion .....	43
4.1	Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die Gleichgewichtsleistung.....	43
4.2	Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die Schlafqualität .....	44
4.3	Stärken der Untersuchung .....	46
4.4	Schwächen der Untersuchung .....	47
4.5	Ausblick .....	48
5	Schlussfolgerung .....	50
	Literatur.....	51

# **1 Einleitung / Theoretischer Hintergrund**

## **1.1 Schlaf**

Der Mensch verbringt rund ein Drittel seines Lebens mit Schlafen (Rasch, 2021b). Dabei befindet er sich in einem natürlichen Zustand, in welchem er nicht auf Reize reagiert und in seinem Verhalten eingeschränkt ist (Krueger et al., 2016; Rasch & Born, 2013). Während des Schlafens merkt er kaum, was um ihn herum geschieht. Im Verlaufe des Lebens verändert sich der Schlaf und die Schlafqualität nimmt mit dem Älterwerden ab (Mitterling et al., 2015; Scullin & Bliwise, 2015). Die Schlafarchitektur verändert sich negativ, was zu einer schlechteren Schlafqualität führt. Vor allem bei älteren Personen sind Schlafprobleme bekannt und ein weit verbreitetes Problem (Chen et al., 2015). Schlafprobleme wiederum können das Risiko für verschiedene Krankheiten wie Bluthochdruck oder Herz-Kreislauf Probleme erhöhen (Sejbuk et al., 2022). Um den Schlafproblemen bei älteren Erwachsenen entgegenzuwirken, wird oft auf Schlafmedikamente zurückgegriffen (Bertisch et al., 2014). Jedoch können Medikamente, welche gegen Schlafprobleme eingesetzt werden, negative Auswirkungen mit sich ziehen (Mokhar et al., 2018). In der Forschung wird versucht, Lösungen für Schlafprobleme und schlechte Schlafqualität zu finden und diesen entgegenzuwirken. So ist beispielsweise bekannt, dass die richtige Ernährung die Schlafqualität positiv beeinflussen kann (Sejbuk et al., 2022). Eine Methode, um die Schlafqualität bei älteren Erwachsenen zu verbessern, zeigte sich in der Durchführung von Programmen mit körperlicher Aktivität (Nguyen & Kruse, 2012; Solis-Navarro et al., 2023). Dabei konnten unterschiedliche körperliche Aktivitäten die Schlafqualität verbessern. Ob sich auch Gleichgewichtstraining auf die Schlafqualität von älteren Erwachsenen positiv auswirkt, ist noch nicht abschliessend geklärt und wird in dieser Studie untersucht.

### ***1.1.1 Schlafkennwerte***

In der Schlafforschung dienen Schlafkennwerte zur Beurteilung der Schlafqualität (Iber et al., 2007). Durch die verschiedenen Kennwerte lassen sich Rückschlüsse auf die Schlafqualität ziehen und es ist möglich, ein Vergleich mit anderen Messungen der Schlafqualität zu ziehen. In diesem Abschnitt werden die relevanten Schlafkennwerte für diese Studie beschrieben. Die Auflistung der beschriebenen Kennwerte ist nicht abschliessend, sondern fokussiert sich auf das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit.

1. Licht aus: Ist der Zeitpunkt, bei dem eine Person ins Bett geht (Erlacher, 2019).
2. Licht an: Stellt den Zeitpunkt dar, bei dem eine Person endgültig aufsteht (Erlacher, 2019).
3. Bettzeit: Beschreibt die Gesamtzeit von «Licht aus» bis «Licht an», also vom Zubettgehen bis zum Aufstehen (Iber et al., 2007).
4. Latenzzeit beim Einschlafen: Die Latenzzeit beim Einschlafen gibt die Zeitspanne an, die eine Person benötigt, bis sie eingeschlafen ist. Also die Zeit von «Licht aus», bis das Schlafstadium N1 (siehe Kapitel 1.1.3) erreicht wird (Iber et al., 2007).
5. Wach nach Schlafbeginn: Alle Wachphasen nach dem erstmaligen Einschlafen bis zu «Licht an» werden zum Kennwert «Wach nach Schlafbeginn» gezählt (Iber et al., 2007). Dazu zählt auch das morgendliche Erwachen, welches die Zeit vom endgültigen Erwachen bis «Licht an» beschreibt (Erlacher, 2019). Bei schlafgestörten Personen kann der Zeitpunkt des morgendlichen Erwachens weit vor dem eigentlichen Aufstehen liegen.
6. Gesamtschlafzeit: Die Zeitspanne vom Einschlafen bis zu «Licht an», minus die Wachphasen und das morgendliche Erwachen, wird als Gesamtschlafzeit bezeichnet (Erlacher, 2019). Die Gesamtschlafzeit ist die effektiv geschlafene Zeitdauer während einer Nacht in Minuten.
7. Schlafeffizienz: Wie viel Prozent von der gesamten Bettzeit auch tatsächlich geschlafen wurde, wird als Schlafeffizienz bezeichnet (Ohayon et al., 2017). Die Schlafeffizienz ergibt sich aus dem Verhältnis der Gesamtschlafzeit und der Bettzeit und wird mit der Formel  $\left(\frac{\text{Gesamtschlafzeit}}{\text{Bettzeit}}\right) * 100$  berechnet (Iber et al., 2007).
8. Tiefschlaf: Indiziert, wie viel Zeit im Schlafstadium N3 (siehe Kapitel 1.1.3) im Verhältnis zur Gesamtschlafzeit verbracht wird (Iber et al., 2007; Ohayon et al., 2017). Der Tiefschlaf wird in Prozent angegeben.

Um die Schlafkennwerte zu erhalten oder um diese berechnen zu können, muss der Schlaf zuerst gemessen und analysiert werden. Im nächsten Kapitel werden verschiedene Arten zur Messung von Schlaf beschrieben.

### ***1.1.2 Das Messen von Schlaf***

Die subjektive Erfassung, die Akzelerometrie und die Polysomnografie sind drei Methoden zur Ermittlung der Schlafqualität. Sie bringen verschiedene Vorteile mit sich und werden in den folgenden Abschnitten genauer beschrieben.

***Subjektive Erfassung.*** Die einfachste Variante für die Erfassung des Schlafes ist die subjektive Erfassung mittels Schlafragebogen oder Schlaftagebücher. Dabei werden die Versuchspersonen zum subjektiven Empfinden ihres Schlafes befragt. Einer der bekanntesten Schlafragebögen ist der Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) (Buysse et al., 1989). Dieser Fragebogen enthält 24 Fragen, welche sich rückblickend auf die letzten vier Wochen vor dem Erfassungszeitpunkt beziehen. Neunzehn Fragen füllt die Versuchsperson selbst aus, fünf Fragen richten sich an den Bettpartner. Die Fragen, welche die Versuchsperson selbst beantwortet hat, werden den Faktoren subjektive Schlafqualität, Latenzzeit beim Einschlafen, Schlafdauer, Schlafeffizienz, Schlafstörungen, Schlafmittelkonsum und Tagesmüdigkeit zugeordnet. Bei jedem der sieben Faktoren können null bis drei Punkte erreicht werden, was dann zu einer Gesamtpunktzahl von null bis 21 Punkten führt. Anhand der vergebenen Punkte kann die Schlafqualität beurteilt werden. Null Punkte deuten auf eine sehr gute Schlafqualität hin, 21 Punkte sind ein Zeichen für grosse Schlafprobleme.

***Akzelerometrie.*** Die Akzelerometrie misst den Schlaf anhand von Körperbewegungen (Marino et al., 2013). Im Schlaf bewegt sich der Mensch im Normalfall nicht oder nur sehr wenig. Die Körperbewegungen werden durch Beschleunigungssensoren, sogenannte Aktigraphen, gemessen, welche am Handgelenk getragen werden. In der Schlafforschung werden Zeiträume bestimmt, in denen keine Beschleunigungen auftreten. Diese Zeiträume werden als Schlaf gewertet. Im Vergleich zur Polysomnografie liegt der Vorteil der Akzelerometrie im geringeren Aufwand, wodurch einfacher Studien mit höheren Teilnehmerzahlen gemacht werden können (Marino et al., 2013). Auch sind Längsschnittstudien und Studien mit wiederholten Messungen einfacher durchführbar. Zudem stört die Akzelerometrie den Schlaf nicht, was bei der Polysomnografie der Fall sein kann. Jedoch wird die Wachzeit bei der Akzelerometrie oft unterschätzt und der Schlaf überschätzt (Ancoli-Israel et al., 2003). Die Überschätzung kann damit zusammenhängen, dass eine Person bereits vor dem eigentlichen Einschlafen keine Handgelenkbewegungen mehr zeigt (Marino et al., 2013). Dadurch wird dies Zeitspanne als Schlaf gewertet, obwohl die Person wach ist.

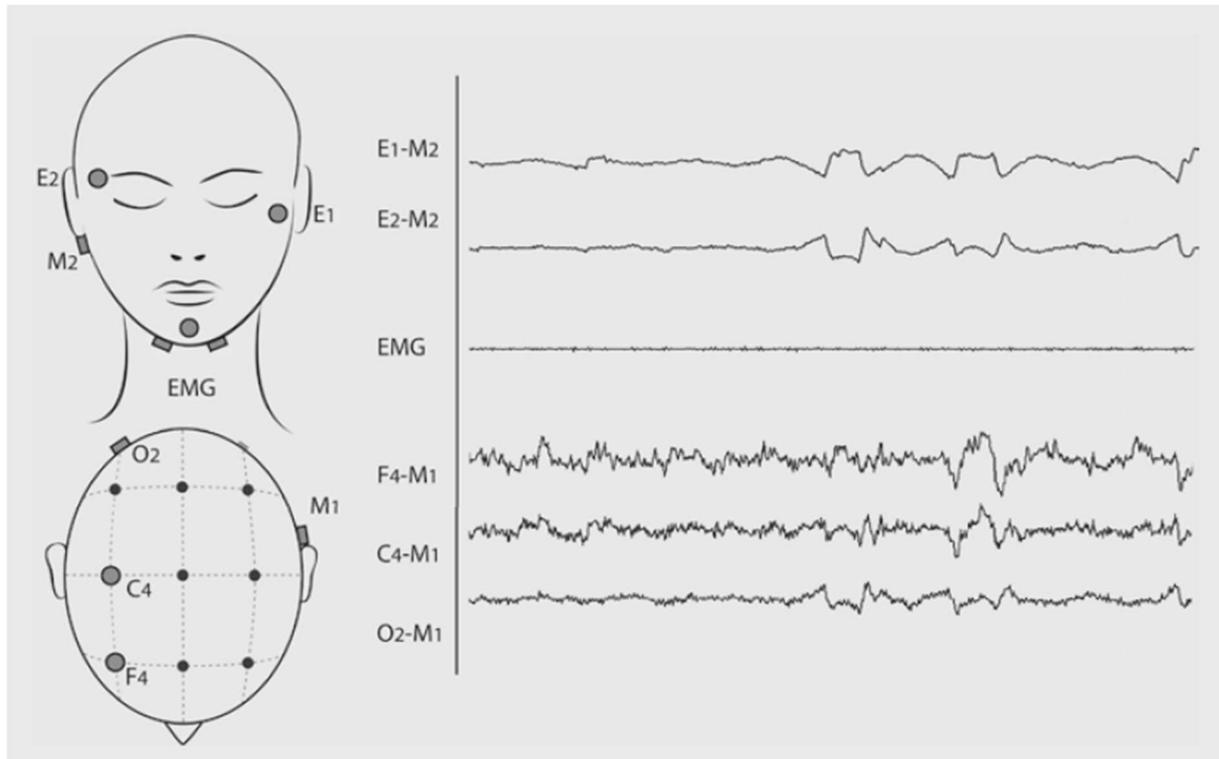
**Polysomnografie.** Durch die Polysomnografie werden Gehirnströme, Augenbewegungen und Muskelaktivitäten während des Schlafes gemessen und anhand der Ergebnisse in verschiedene Schlafphasen (siehe Kapitel 1.1.3) unterteilt (Iber et al., 2007). Für die Messung der drei Parameter werden Elektroden mit einer besonderen Paste, gemäss dem Manual der Amerikanischen Akademie für Schlafmedizin (AASM), aufgeklebt. Die Positionen der Elektroden sind dabei durch das internationale 10-20 System festgelegt (Milnik, 2009). Die Elektroden erfassen Spannungsänderungen, welche auf dem Monitor als Ausschläge erscheinen (Iber et al., 2007). Es wird zwischen Elektroenzephalografie (EEG), Elektrookulografie (EOG) und der Elektromyografie (EMG) unterschieden. Bei den Messungen werden die Elektroden mit einer Referenzelektrode verschaltet. Diese befindet sich meist auf der gegenüberliegenden Seite hinter dem Ohr und wird mit dem Buchstaben M (Mastoid) abgekürzt. Für die Messung der Gehirnaktivität mittels EEG wird von der AASM die Ableitung F4 - M1, C4 - M1, O2 - M1 empfohlen (siehe Abbildung 1). Zusätzlich sollten auch die Ersatzelektroden F3, C3 und O1 mit der Referenz M2 angebracht werden, um den Ausfall einer Elektrode während der Aufzeichnung zu kompensieren. Beim Kleben der Elektroden sind auch andere Varianten möglich. Die Bedeutungen der Buchstaben sind aus dem Lateinischen abgeleitet und beziehen sich auf die unter den Elektroden liegenden Hirnlappen (F = Frontal, O = Okzipital, P = Parietal, T = Temporal, C = Central). Durch die Verteilung der Elektroden wird die Gehirnaktivität in verschiedenen Bereichen (frontal, zentral, okzipital) erfasst. Es sind daher mindestens drei EEG-Ableitungen erforderlich.

Für die Messung der Augenbewegungen mittels EOG werden Elektroden links und rechts neben die Augen geklebt (siehe Abbildung 1, oben links) und auf den gleichen Punkt referenziert (Iber et al., 2007). Die Elektroden erkennen die Augenbewegungen und zeichnen sie auf. Dadurch, dass die Elektroden spiegelsymmetrisch geklebt sind, zeigen sie am Monitor Ausschläge in entgegengesetzte Richtungen (siehe Abbildung 1, oben rechts). Dies ist wichtig, um Verwechslungen mit Hirnaktivitäten zu vermeiden.

Für die Messung der Muskelspannung durch EMG wird von der AASM das Platzieren von drei Elektroden empfohlen (Iber et al., 2007). Zwei der Elektroden werden am Kinnmuskel zirka 2 cm links und rechts der Mittellinie geklebt. Die dritte Elektrode wird als Referenz in der Mitte zirka 1 cm oberhalb der unteren Kante des Unterkiefers geklebt. Durch das EMG wird die Spannung der Muskulatur im Körper widerspiegelt.

## Abbildung 1

*Schlafableitung nach der Amerikanischen Akademie für Schlafmedizin (AASM)*



*Anmerkung.* Abkürzungen der Elektrodenpositionen, E1 = Auge links, E2 = Auge rechts, M1 = Mastoid links, M2 = Mastoid rechts, O2 = okzipital rechts, C4 = zentral rechts, F4 = frontal rechts. Weitere Abkürzung, EMG = Elektromyografie. Beispielerklärung einer Ableitung, F4 - M1 = F4 referenziert zu M1. Oben links: Positionen der Elektrookulografie- (EOG) und EMG-Elektroden. Oben rechts: Ausschläge der EOG- und EMG-Kanäle. Unten links: Darstellung der Schlafableitung F4 - M1, C4 - M1, O2 - M1, mit den Ausschlägen der Gehirnaktivität unten rechts (Iber et al., 2007). Abbildung übernommen aus Sport und Schlaf (Erlacher, 2019, S. 15)

Mithilfe der Daten aus EEG, EMG und EOG wird der Schlaf analysiert und in verschiedene Schlafphasen unterteilt (Iber et al., 2007). Die Schlafdaten werden in 30 s Epochen aufgeteilt und jede Epoche einer Schlafphase zugewiesen. Die Schlafphasen und deren Merkmale, welche der Zuordnung der Epochen zur richtigen Schlafphase dienen, werden im nächsten Kapitel genauer beschrieben.

### ***1.1.3 Die Phasen des Schlafs***

Der Schlafzyklus gliedert sich in zwei Hauptstadien, den Rapid-Eye-Movement Schlaf (REM-Schlaf) und den Non-Rapid-Eye-Movement Schlaf (Non-REM-Schlaf) (Iber et al., 2007). Schnelle Augenbewegungen sind der Hauptindikator für den REM-Schlaf. Der Non-REM-Schlaf wiederum ist in die Schlafstadien N1 (Einschlafphase), N2 (stabiler Schlaf) und N3 (Tiefschlaf) unterteilt. Die einzelnen Stadien werden im Folgenden genauer erläutert (Iber et al., 2007).

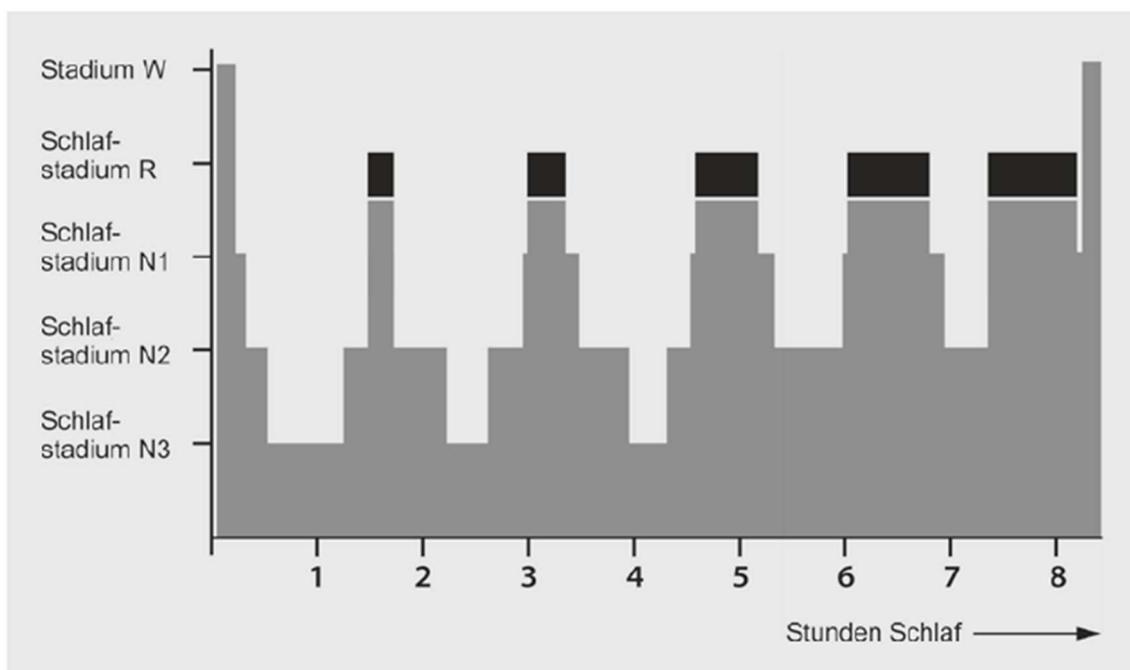
1. Stadium W: Das Stadium W ist die Wachphase. Sie reicht von der vollen Aufmerksamkeit bis zum Übergang ins Schlafstadium N1.
2. Schlafstadium N1: Wird oft als leichter Schlaf bezeichnet und markiert den eigentlichen Schlafbeginn. Dabei lässt die Muskelspannung, gemessen mit EMG, nach. Auch langsame Augenbewegungen, gemessen mit EOG, sind typisch für den N1-Schlaf. Typisch ist auch ein gemischtfrequentes EEG mit niedriger Spannung.
3. Schlafstadium N2: Im N2-Schlafstadium hat eine Person einen stabilen, mitteltiefen Schlaf. Typisch für das Stadium N2 sind spindelförmige Wellenansammlungen, sogenannte Schlafspindeln und Ausschläge nach oben und unten, die K-Komplexe.
4. Schlafstadium N3: Normalerweise lassen sich im N3 keine Augenbewegungen beobachten. Die Muskulatur ist erschlafft und es zeigen sich langsame und regelmässige Herz- und Atemfrequenzen. Bei den Monitoren des EEG sind im N3-Schlaf langsame Wellenaktivitäten von 0.5 bis 2 Hz mit einer grossen Amplitude ( $> 75 \mu\text{V}$ ) zu sehen.
5. REM-Schlaf: Wie der Name schon sagt, ist der REM-Schlaf gekennzeichnet durch schnelle Augenbewegungen. Ebenfalls ist der EMG-Tonus am Kinn gering und niedriger als in allen anderen Stadien (Iber et al., 2007). Während des REM-Schlafs kommt es zur Muskelatonie, wobei die Muskulatur vom Hirnstamm abwärts gelähmt ist (Rasch & Born, 2013). Gleichzeitig kommt es während des REM-Schlafs, welcher auch als paradoxer Schlaf bezeichnet wird, zu wachähnlichen, schnellen und oszillatorischen Hirnaktivitäten. Personen berichten nach dem Aufwachen aus dem REM-Schlaf oft von lebhaften Träumen.

Durch das Einteilen der 30 s Epochen in die verschiedenen Schlafstadien entsteht ein Schlafprofil, ein sogenanntes Hypnogramm (Abbildung 2) (Erlacher, 2019; Iber et al., 2007). Ein Hypnogramm bildet den Schlaf während der gesamten Nacht ab und setzt sich aus mehreren Schlafzyklen zusammen. Eine Nacht mit einer Schlafzeit von acht Stunden enthält

normalerweise fünf bis sechs Schlafzyklen. Ein Schlafzyklus dauert rund 90 min und ist eine Abfolge von Non-REM- und REM-Schlaf. Auf einen Zyklus folgt der Nächste. In der ersten Nachthälfte enthalten die Schlafzyklen viel N3-Schlaf, der REM-Schlaf dauert hingegen nur kurz (Rasch & Born, 2013). In der zweiten Nachthälfte wechselt das Schlafprofil, während der REM-Schlaf einen bedeutend grösseren Teil einnimmt, verschwindet der N3-Schlaf meist ganz und es geht nur noch bis zum Schlafstadium N2.

## Abbildung 2

### Beispiel Hypnogramm



*Anmerkung.* Darstellung eines Hypnogramms. Stadium W = Wachphase, Schlafstadium R = Rapid-Eye-Movement (REM) -Schlaf, Schlafstadium N1 = Einschlafphase, Schlafstadium N2 = stabiler Schlaf, Schlafstadium N3 = Tiefschlaf. Abbildung übernommen aus Sport und Schlaf (Erlacher, 2019, S. 17)

### 1.1.4 Relevanz der Schlafphasen

Der N1-Schlaf ist ein sehr leichter Schlaf, in welchem eine Person mühelos geweckt werden kann (Rasch, 2021b). Aufgrund der geringen Tiefe des Schlafes, wird der Schlaf in anderen Stadien als erholsamer erachtet. Die Schlafphase N1 gilt daher als die unwichtigste Phase. Im Schlafstadium N2 verbringt eine Person während einer Nacht die meiste Zeit, rund die Hälfte.

Dabei gilt diese Schlafphase als erholsam, mitteltief und stabil. Als wichtigste Schlafphase wird der N3-Schlaf bezeichnet. Er gilt als Tiefschlafphase und wird in der Literatur als erholsamste Phase im menschlichen Schlafbedürfnis bezeichnet. Die Wichtigkeit des N3-Schlaf für die Erholung zeigt sich auch darin, dass sich der Anteil an Tiefschlaf erhöht, je müder eine Person und je grösser ihr Schlafdruck ist (Borbély & Achermann, 1999). Ebenfalls ist die Tiefschlafphase besonders wichtig für die Gedächtniskonsolidierung und die Immunabwehr (Rasch & Born, 2013). Der REM-Schlaf zeigt sich in der letzten Schlafphase eines Schlafzyklus und gilt als weiteres tiefes Schlafstadium (Rasch, 2021b). Eine Person ist aus diesem Schlafstadium nur mit Mühe zu wecken. Der REM-Schlaf wird mit dem emotionalen Wohlbefinden in Verbindung gebracht und kann die Verarbeitung von emotionalen Ereignissen verbessern (Konjarski et al., 2018).

### ***1.1.5 Funktion von Schlaf***

Die unterschiedlichen Schlafphasen sind wichtig für verschiedene Effekte (siehe Kapitel 1.1.4). Es gibt diverse positive Effekte, welche durch eine gute Schlafqualität positiv beeinflusst werden können. Einige der relevantesten werden in diesem Kapitel kurz beschrieben.

***Emotionales Wohlbefinden.*** Es wurde gezeigt, dass die Stimmung einer Person mit der Schlafqualität zusammenhängen kann (Konjarski et al., 2018). Dabei war vor allem die subjektive Schlafqualität entscheidend für die Bewertung der Stimmung. Wenn eine Person den Eindruck hatte, gut geschlafen zu haben, bewertete sie ihre Stimmung als besser, wie wenn sie den Eindruck hatte, schlecht geschlafen zu haben. Auch Schlafentzug führte zu grösseren Stimmungsschwankungen (Watling et al., 2017). Die Studien zeigen, dass der Schlaf das emotionale Wohlbefinden negativ beeinflussen kann.

***Gedächtniskonsolidierung.*** Es ist bewiesen, dass durch Schlaf die Gedächtniskonsolidierung verbessert werden kann (Rasch & Born, 2013). Übungen, welche vor dem Schlafen gelernt wurden, konnten besser gespeichert werden, wenn nach dem Lernen geschlafen wurde. Somit gingen die Erinnerungen an Bewegungsabläufe im Sport, Inhalte von Texten oder gelernte Wörter weniger vergessen.

***Regeneration.*** Schlaf gilt in der Sportwissenschaft als eine der wichtigsten Regenerationsmassnahmen des Organismus und ist somit wesentlich für die physische und geistige Leistungsfähigkeit (Weineck, 2017).

**Immunabwehr.** Der Schlaf und das Immunsystem stehen in Wechselwirkung zueinander (Besedovsky et al., 2019). Es ist bekannt dass eine Infektion zu Müdigkeit führt und das Schlafbedürfnis bei einer Infektion steigt. Verschiedene Studien haben die Wichtigkeit von Schlaf auf die Immunabwehr gezeigt. Cohen et al. (2009) untersuchten, ob die Schlafdauer und die Schlaffeizienz, in den Wochen vor der Exposition mit einem Erkältungsvirus (Teilnehmende erhielten Nasentropfen, die den Rhinovirus enthielten), mit der Anfälligkeit für Erkältungen zusammenhängen. Dabei konnten sie zeigen, dass Teilnehmende mit sieben oder weniger Stunden Schlaf eine 2,94 mal höhere Wahrscheinlichkeit hatten, an einer Erkältung zu erkranken als Personen mit acht und mehr Stunden Schlaf. Auch Personen mit einer tieferen Schlaffeizienz (< 92 %) hatten im Vergleich zu Personen mit einer höheren Schlaffeizienz (> 98 %) ein 5.5 mal höheres Risiko, an einer Erkältung zu erkranken. Auch in der Studie von Prather et al. (2015) konnte gezeigt werden, dass eine kürzere Schlafdauer, gemessen mit der Aktigrafie vor der Virusexposition, mit einer erhöhten Anfälligkeit für Erkältungen zusammenhängt.

#### ***1.1.6 Veränderungen des Schlafs über die Lebensspanne***

Es ist bekannt, dass sich der Schlaf über die Lebensspanne stark verändert (Scullin & Bliwise, 2015). Auch die Schlafempfehlungen einer Expertengruppe der amerikanischen Schlafgesellschaft unterscheiden sich je nach Altersgruppe (Hirshkowitz et al., 2015). So werden für Kinder im Vorschulalter von drei bis fünf Jahren etwa 10 bis 13 h Schlaf empfohlen. Für Erwachsene (26 - 64 Jahre) beträgt die empfohlene Schlafdauer 7 bis 9 h und für Personen über 65 Jahre sind es 7 bis 8 h. Ebenfalls wird von der Expertengruppe ein erweiterter Bereich, welcher als eingeschränkt angemessen bezeichnet wird, definiert. Dieser beträgt bei Kindern im Vorschulalter 8 bis 14 h, bei Erwachsenen 6 bis 10 h und für Personen über 65 Jahren 5 bis 9 h. Die Bereiche der Schlafempfehlungen werden weit gefasst und stellen eine allgemeine Schlafempfehlung für das entsprechende Alter dar. Die Experten der amerikanischen Schlafgesellschaft raten vom regelmässigen, absichtlichen Nichteinhalten der empfohlenen Schlafdauer ab, um das Wohlbefinden und die Gesundheit nicht zu gefährden. Verschiedene Studien zeigen eine Veränderung der Schlafarchitektur mit dem Älterwerden (Mitterling et al., 2015; Scullin & Bliwise, 2015). Dabei fällt auf, dass sich der Anteil an Tiefschlaf verändert. Die Ergebnisse der Studie von Mitterling et al. (2015) zeigten auf, dass der Anteil an Tiefschlaf bei Personen unter 30 Jahren 20.7 % betrug. Im Vergleich dazu waren es bei Personen über 60 Jahre noch 14.9 %, was eine deutliche Abnahme bei zunehmendem Alter belegte. Auch die Ergebnisse von Scullin und Bliwise (2015) zeigten einen deutlichen Rückgang des Anteils an Tiefschlaf von 20 % bei 20-Jährigen zu 9 % bei 70-Jährigen. Auch der Anteil an Wachphasen veränderte sich mit

zunehmendem Alter (Scullin & Bliwise, 2015). Während 20-Jährige einen durchschnittlichen Wachanteil von 4 % aufwiesen, war der Wachanteil bei 70-Jährigen bei 10.5 %. Die beiden Studien zeigen, dass der Schlaf im Alter mehr unterbrochen wird und weniger tief ist als bei jungen Erwachsenen. Schlussfolgernd verschlechtert sich die Schlafqualität mit dem höheren Alter zunehmend.

### ***1.1.7 Richtwerte für ältere Personen***

***Latenzzeit beim Einschlafen.*** Bei der Latenzzeit zeigt sich ein Zusammenspiel vieler Faktoren (Rasch, 2021b). So ist zum Beispiel entscheidend, wie lange eine Person in der Nacht zuvor geschlafen hat, wie die Raumtemperatur ist und ob sie sich in einer ruhigen Umgebung befindet. Bei einer Querschnittsstudie wurden 1049 Personen auf die subjektive Latenzzeit beim Einschlafen befragt (Tribl et al., 2002). Die Resultate haben gezeigt, dass rund 46 % der Befragten 15 min oder weniger zum Einschlafen benötigten, rund 28 % brauchten 15 bis 30 min und bei rund 26 % war es mehr als eine halbe Stunde. Eine weitere Studie mit objektiven Messungen zeigte eine durchschnittliche Latenzzeit von rund 20 min bei Personen im Alter von 61 bis 73 Jahren (Hertenstein et al., 2018). Die Übersichtsarbeit der amerikanischen Schlafstiftung bewertete eine Latenzzeit beim Einschlafen von weniger als 15 min als Hinweis für eine gute Schlafqualität bei älteren Personen (Ohayon et al., 2017). Auch eine Latenzzeit beim Einschlafen zwischen 15 und 30 min wurde als gute Schlafqualität eingestuft. Bei älteren Erwachsenen deutete eine Latenzzeit beim Einschlafen von 60 min und mehr auf eine schlechte Schlafqualität hin.

***Schlafeffizienz.*** Als Hinweis auf eine gute Schlafqualität bei älteren Erwachsenen wurde in der Übersichtsarbeit von Ohayon et al. (2017) eine Schlafeffizienz von 85 % und mehr gewertet. Eine Schlafeffizienz von weniger als 74 % deutete bei älteren Personen auf eine schlechte Schlafeffizienz hin.

***Tiefschlaf.*** Ein N3-Schlafanteil von 16 bis 20 % deutete bei Erwachsenen auf eine gute Schlafqualität hin (Ohayon et al., 2017). Hingegen wurde ein N3-Anteil von weniger als 5 % als Hinweis für eine schlechte Schlafqualität gedeutet. Die Expertengruppe der Untersuchung von Ohayon et al. (2017) war sich in Bezug auf den Anteil an Tiefschlaf bei älteren Erwachsenen unsicher und gaben deshalb für diese Altersgruppe keine Empfehlungen zum Tiefschlaf ab. Die

Studie von Mitterling et al. (2015) zeigte bei objektiven Messungen mit Personen über 60 Jahren einen Tiefschlafanteil von 14.9 %.

### ***1.1.8 Folgen von Schlafmangel und Schlafstörungen***

Diverse Studien zeigen auf, dass eine Vielzahl von Erkrankungen wie zum Beispiel Bluthochdruck, Diabetes oder Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems in direktem Zusammenhang mit Schlafmangel stehen können (siehe Itani et al., 2017, für ein systematisches Review). Zusätzlich steigt das Risiko für mentale Erkrankungen durch zu wenig Schlaf, woraus kognitive Gedächtniseinbussen wie Alzheimer oder Demenz resultieren können (Scullin & Bliwise, 2015). Des Weiteren werden nebst den kognitiven auch die emotionalen Fähigkeiten deutlich gestört (Krause et al., 2017). Weitere Studien belegen, dass Personen, welche an Schlafmangel leiden, in den Folgejahren mit höherer Wahrscheinlichkeit an Übergewicht leiden (Itani et al., 2017; Miller et al., 2018). Aber nicht nur Schlafmangel, sondern auch unregelmässiger Schlaf (z.B. durch Schichtarbeit) erhöhen das Risiko, übergewichtig zu werden (Sun et al., 2018). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Störungen oder ein Mangel an Schlaf zahlreiche Probleme und Erkrankungen hervorrufen und die Mortalität erhöhen können (Itani et al., 2017).

### ***1.1.9 Die Zielgruppe ältere Personen***

Die Zielgruppe der älteren Erwachsenen eignet sich besonders für die vorliegende Untersuchung. Es ist bekannt, dass sich die Schlafqualität im höheren Alter verschlechtert (Sejbuk et al., 2022). Aus der Literatur geht hervor, dass insbesondere bei älteren Erwachsenen Schlafprobleme weit verbreitet sind (Chen et al., 2015). Dazu gehören Probleme beim Einschlafen, eine geringe Verweildauer in den tiefen Schlafstadien, früh morgentliches Erwachen und eine geringe Gesamtschlafdauer (Neubauer, 1999). Zudem ist deren Schlaf im Allgemeinen weniger tief und wird häufiger unterbrochen als bei jüngeren Menschen (Scullin & Bliwise, 2015). Die Studie von Foley et al. (1995) zeigte beispielsweise auf, dass fast die Hälfte aller befragten Personen über 65 Jahren unter Schlafstörungen litten. Gemäss Neubauer (1999) kann nicht davon ausgegangen werden, dass ältere Erwachsene weniger Schlaf brauchen. Das Bedürfnis wäre wahrscheinlich vorhanden, jedoch erreichen sie diese Schlafqualität nicht mehr (Rasch, 2021a). Mit Blick auf die Zukunft zeigen sich die Verbesserung der Schlafqualität bei älteren Erwachsenen sowie die Behandlung vorhandener Schlafstörungen als wichtiges Forschungsfeld.

## 1.2 Gleichgewicht

Das Gleichgewicht beim Menschen ist die Fähigkeit, den Körperschwerpunkt über der Standfläche zu kontrollieren (Donath et al., 2017). Dabei wird unterschieden zwischen statischem und dynamischem Gleichgewicht. Das Gleichgewicht ist eine wichtige Voraussetzung für das tägliche Leben. So zeigt sich zum Beispiel, dass ein schlechtes Gleichgewicht mit einer höheren Sturzrate verbunden ist (Abellan van Kan et al., 2009). Auch für das sportliche Leben ist das Gleichgewicht von grosser Bedeutung, da beispielsweise die sportliche Leistung durch Gleichgewichtstraining verbessert werden kann (Taube et al., 2007). Das Gleichgewicht, das Gleichgewichtstraining und dessen Effekte wurden daher in verschiedenen Studien, welche in den folgenden Kapiteln selektiv aufgeführt sind, untersucht.

### 1.2.1 Effekte von Gleichgewichtstraining

Gleichgewichtstraining ist in der Sportwissenschaft ein weit verbreiteter Begriff und wird in verschiedenen Bereichen genutzt. Nebst dem Effekt der verbesserten Haltungskontrolle wird das Gleichgewichtstraining auch in der Rehabilitation, der Verletzungsprävention oder dem Leistungssport eingesetzt (Caraffa et al., 1996; Gauffin et al., 1988; Lesinski et al., 2015a; Taube et al., 2007; Verhagen et al., 2004).

**Sprungleistungen.** Im Leistungssport konnte bewiesen werden, dass durch ein sechswöchiges Gleichgewichtstraining mit drei Trainingseinheiten pro Woche die Sprungleistungen im Squad Jump, beim Counter Movement Jump und auch beim Drop Jump signifikant verbessert werden konnten (Taube et al., 2007). Die Untersuchung wurde dabei mit Nachwuchsleistungssportlern aus den Bereichen Skisprung und Nordischer Kombination durchgeführt.

**Verletzungsprävention.** Auch in der Verletzungsprävention konnte gezeigt werden, dass Gleichgewichtstraining einen positiven Einfluss auf Verletzungen ohne Fremdeinwirkung haben kann (Verhagen et al., 2004). In einer Studie von Caraffa et al. (1996) wurde gezeigt, dass durch Gleichgewichtstraining Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bei Fussballspielern signifikant reduziert werden konnten. Die Studie wurde mit 600 Fussballspielern während drei Saisons durchgeführt. Die Hälfte davon absolvierte ein Gleichgewichtsprogramm mit fünf Phasen, wobei die Schwierigkeit der Gleichgewichtsübungen sich von Phase zu Phase steigerte.

**Rehabilitation.** Gleichgewichtstraining kann auch in der Rehabilitation einen positiven Einfluss haben (Gauffin et al., 1988). In der Studie von Gauffin et al. (1988) wurde gezeigt, dass

Instabilität im Sprunggelenk sowie wiederkehrende Verstauchungen und das Gefühl des Nachgebens im Sprunggelenk durch Gleichgewichtstraining verbessert werden konnten.

### ***1.2.2 Training von Gleichgewicht***

Im Gleichgewichtstraining gibt es, im Gegensatz zum Kraft- oder Ausdauertraining, wenig wissenschaftliche Richtlinien über dessen Inhalte, die optimale Dauer und die Intensität (Granacher et al., 2011a). In verschiedenen Studien unterscheiden sich daher die Ausführungen von Gleichgewichtstraining.

***Übungen für Gleichgewichtstraining.*** Grundsätzlich gibt es diverse Trainingsarten, welche dem Gleichgewichtstraining zugeordnet werden können. So wurden Untersuchungen in Bezug auf das Gleichgewicht mit Slackline-Training gemacht (Donath et al., 2017). Des Weiteren gibt es Untersuchungen, welche Kreisel, weiche Matten, zweidimensional freischwingende Plattformen oder Wackelbretter für das Training verwendeten (Taube et al., 2007). Den Kern der Übungen bilden meist statische und dynamische Übungen auf stabilem oder instabilem Untergrund (Granacher et al., 2011a). Dabei werden die Übungen im ein- oder zweibeinstand sowie mit offenen oder geschlossenen Augen durchgeführt. Giboin et al. (2015) haben in ihrer Studie untersucht, ob sich das Gleichgewichtstraining aufgabenspezifisch auswirkt oder es einen Übertrag auf andere Gleichgewichtsaufgaben gibt. Dabei kamen sie zum Schluss, dass sich das Gleichgewichtstraining aufgabenspezifisch auswirkte und es keinen signifikanten Übertrag auf anderen Gleichgewichtsübungen gab. Daher rät die Forschungsgruppe, das Training möglichst vielfältig zu gestalten, um das Ziel der allgemeinen Gleichgewichtsverbesserung zu erreichen. Nebst einem vielfältig gestalteten Programm sind auch die Erhöhung des Schwierigkeitsgrades und das Herausfordern der Teilnehmenden während des Trainingsprozesses wichtig (Cadore et al., 2013; Granacher et al., 2011a). Dies kann beispielsweise durch das Schliessen der Augen, Störungen von aussen, das Verringern der Standfläche, den Wechsel von statischen zu dynamischen Übungen oder das zusätzliche Fangen eines Balles geschehen (Chodzko-Zajko et al., 2009; Taube et al., 2007). Entscheidend ist ebenfalls die Anpassung der Trainingsgestaltung an die Zielgruppe (Wälchli et al., 2018). Das Training soll attraktiv gestaltet werden und die Teilnehmenden zur aktiven Teilnahme motivieren. Granacher et al. (2011b) konnten in ihrer Studie mit Kindern zwischen sechs und sieben Jahren keine Verbesserung des Gleichgewichts feststellen. Die Autoren gingen davon aus, dass die Kinder durch das klassische Gleichgewichtstraining zu wenig motiviert waren und die Intervention deshalb nicht zu einer signifikanten Verbesserung führte. Eine weitere Studie mit Kindern von sechs bis sieben Jahren konnte im

Gegensatz zur Studie von Granacher et al. (2011b) eine Verbesserung der Gleichgewichtsleistung feststellen (Wälchli et al., 2018). Die Forschenden legten dabei grossen Wert darauf, das Trainingsprogramm attraktiv und kindergerecht zu gestalten. Die Autoren berichteten, dass die Kinder bei den Trainings hochmotiviert waren. Die beiden Studien zeigen die Wichtigkeit eines attraktiven Trainingsprogramms, welches die Teilnehmenden zur aktiven Teilnahme motiviert.

***Dauer von Gleichgewichtstraining – Vergleich von Jung und Alt.*** Bei der Dauer und Häufigkeit für ein wirksames Gleichgewichtstraining werden in der Literatur verschiedene Methoden angewendet. Zwei systematische Übersichtsarbeiten zeigten auf, welcher Trainingsaufwand (Trainingsdauer, Trainingshäufigkeit und Trainingsvolumen) ein effektives Gleichgewichtstraining darstellt (Lesinski et al., 2015a, 2015b). Dabei konzentrierte sich die Untersuchung von Lesinski et al. (2015a) auf gesunde Erwachsene im Alter von 16 bis 40 Jahren und die Untersuchung von Lesinski et al. (2015b) auf gesunde Erwachsene im Alter von 65 Jahren und älter. Ziel der beiden Übersichtsarbeiten war die Charakterisierung von Gleichgewichtstraining, um die Gleichgewichtsleistung bei Erwachsenen maximieren zu können. Sie kamen zum Schluss, dass ein effektives Gleichgewichtstraining für junge Erwachsene 11 bis 12 Wochen mit drei Trainingseinheiten pro Woche dauern und mindestens 16 bis 19 Trainingseinheiten beinhalten sollte (Lesinski et al., 2015a). Es zeigte sich kein grosser Unterschied, ob 16 bis 19 oder 36 bis 39 Trainingseinheiten gemacht wurden. Die Effektstärken (Cohen's d) waren mit 1.12 und 1.09 praktisch identisch. Eine Trainingseinheit dauerte 11 bis 15 min und enthielt vier Übungen, wobei je zwei Sätze pro Übung gemacht wurden. Die Dauer für eine einzelne Übung betrug 21 bis 40 s. Gleiches wurde bei älteren Erwachsenen untersucht (Lesinski et al., 2015b). Dabei galt ein Umfang von 11 bis 12 Wochen mit drei Trainings pro Woche, einer Trainingsanzahl von 36 bis 40 Trainingseinheiten mit einer Dauer von 31 bis 45 min pro Trainingseinheit und einer Gesamtdauer von 91 bis 120 min pro Woche als effektives Gleichgewichtstraining (Lesinski et al., 2015b). Vergleiche der beiden Studien sind schwierig, da die Trainings bei den älteren Erwachsenen oft isoliert durchgeführt wurden, wodurch sich die Dauer der Trainingseinheiten erhöht. Bei den jungen Erwachsenen wurde das Gleichgewichtstraining oft als Teil des Gesamttrainings gemacht. Das Aufwärmen zählte dabei, anders als bei den älteren Erwachsenen, nicht zum Teil des Gleichgewichtstraining. Es kann gesagt werden, dass die Nettozeit der beiden Gruppen sich kaum unterscheidet. Ein weiterer Punkt, den die Studie zeigt, ist, dass sich mehrere kürzere Trainingseinheiten (31 bis 45 min pro Woche) besser auf die Gleichgewichtsleistung auswirken als wenige längere Trainingseinheiten (> 60 min).

### ***1.2.3 Methoden zur Gleichgewichtsmessung***

Die Wahl der geeigneten Gleichgewichtstests hängt von verschiedenen Faktoren ab und ist für die Resultate einer Studie von entscheidender Bedeutung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Gleichgewichtsfähigkeit zu testen. Als zuverlässige Methode haben sich Druckpunktmessungen (Centre of Pressure) auf der Kraftmessplatte für die Analyse der Gleichgewichtsleistung erwiesen (Palmieri et al., 2002). Auf der Kraftmessplatte bestehen verschiedene Möglichkeiten zur Gleichgewichtsmessung und es sind verschiedene Schwierigkeitsstufen möglich (Wälchli et al., 2018). So können zum einen einfache statische Messungen wie der Tandemstand oder der Romberg-Test, wo die Füße sich direkt auf der Kraftmessplatte befinden, durchgeführt werden. Weiter können auch dynamische Messungen wie der einbeinige oder zweibeinige Stand auf dem Kreisel durchgeführt werden. Weitere oft verwendete Gleichgewichtstest werden auf dem Posturomed gemacht, einer zweidimensionalen freischwingenden Plattform, welche die Probanden versuchen zu stabilisieren (Müller et al., 2004; Wälchli et al., 2018). Dabei werden die Schwankungen der Plattform in anterior-posterior und medial-lateraler Richtung gemessen. Auch auf dem Posturomed sind verschiedene Tests möglich (Taube et al., 2010). Nebst dem ein- und zweibeinigen Stand auf der Plattform können Tests mit Perturbation gemacht werden. Dabei wird eine für den Probanden unvorhersehbare Störung auf die Plattform gegeben, welche versucht wird auszugleichen mit dem Ziel, die Plattform möglichst schnell in eine ruhige Position zu bringen. Entscheidend bei der Wahl der Methode zur Messung des Gleichgewichts ist die Schwierigkeit der Tests (Taube et al., 2010; Wälchli et al., 2018). Wird ein Test zu einfach gewählt, kann dies zu einem Deckeneffekt führen. Bei Tests, welche die Probanden zu wenig herausfordern, können Deckeneffekte verhindern, dass grössere Fortschritte in der Gleichgewichtsleistung erkannt werden. In der Studie von Taube et al. (2010) wurde das Ausmass der Trainingsanpassung in Relation zum Schwierigkeitsgrad der Gleichgewichtstests erfasst. Daraus resultierte, dass sich die Probanden in den einfachen Tests nicht verbessern konnten. Die grössten Verbesserungen konnten in den schwierigsten Tests beobachtet werden. In der Studie von Wälchli et al. (2018) konnten bei den einfacheren Tests ebenfalls keine Verbesserungen der Gleichgewichtsleistung festgestellt werden, bei den schwierigeren Tests zeigten sich Verbesserungen. Auf der anderen Seite dürfen Gleichgewichtstests, um sogenannte Bodeneffekte zu vermeiden, nicht zu schwierig gewählt werden (Wälchli et al., 2018). Alle Teilnehmenden sollten in der Lage sein, die Messungen oder mindestens einen Teil der Messungen erfolgreich zu absolvieren. Um Boden- und Deckeneffekten entgegenzuwirken, werden in der Literatur Gleichgewichtsmessungen mit verschiedenen Schwierigkeitsstufen empfohlen.

#### ***1.2.4 Gleichgewicht im Alter***

Es ist bekannt, dass sich mit zunehmendem Alter das sensorische und das neuromuskuläre System verändern und sich diese altersbedingten Veränderungen negativ auf das statische und dynamische Gleichgewicht auswirken (Maki & McIlroy, 1996). Ebenfalls ist bewiesen, dass ältere Erwachsene in verschiedenen Gleichgewichtstests die schlechteren Leistungen zeigen als junge Erwachsene (Hytönen et al., 1993). Verschiedene Messungen konnten zeigen, dass schlechte Leistungen in Gleichgewichtstests (Romberg-Test, Ganggeschwindigkeit, Timed-Up-and-Go-Test) mit einem erhöhten Sturzrisiko verbunden sind (Abellan van Kan et al., 2009; Agrawal et al., 2011; Shumway-Cook et al., 2000). Stürze können zu Verletzungen führen, deren kurz- oder langfristige Auswirkungen wiederum die Lebensqualität erheblich verringern können (Rubenstein & Josephson, 2002). Auch aufgrund der hohen Sturzraten wurden zahlreiche Studien zum Gleichgewichtstraining bei älteren Personen durchgeführt. Diese zeigten auf, dass Gleichgewichtsinterventionen den altersbedingten negativen Veränderungen in der Gleichgewichtsfähigkeit bei älteren Erwachsenen erfolgreich entgegenwirken können (Arai et al., 2009; Bellew et al., 2005). Dazu wurde auf instabilen Trainingsgeräten trainiert. Die Verbesserungen zeigten sich beispielsweise in besseren Werten beim Functional Reach Test oder beim Einbeinstand mit offenen oder geschlossenen Augen. Lesinski et al. (2015a, 2015b) kamen zum Schluss, dass sich wirksame Gleichgewichtstrainings von jungen und älteren Erwachsenen sehr ähnlich waren und es dabei keine Alterseffekte gab. Daraus resultiert, dass die Verbesserung des Gleichgewichts durch Training auch im hohen Alter noch möglich ist.

### **1.3 Zusammenhang von Bewegung, Gleichgewicht und Schlaf**

Die aufgeführte Literatur zeigt, dass sich mit dem Älterwerden die Schlafqualität verschlechtert (Chen et al., 2015; Foley et al., 1995; Neubauer, 1999; Scullin & Bliwise, 2015; Sejbuk et al., 2022). Die verringerte Schlafqualität kann wiederum zu einer Vielzahl von Erkrankungen führen (Itani et al., 2017; Krause et al., 2017; Miller et al., 2018; Scullin & Bliwise, 2015). Es wurden bereits zahlreiche Studien durchgeführt, um der schlechten Schlafqualität entgegenzuwirken (siehe Sejbuk et al. (2022) für ein systematisches Review). Diese konnten aufzeigen, dass die Schlafqualität älterer Menschen durch körperliche Aktivität positiv beeinflusst werden kann. So hatte zum Beispiel auch die Studie von Štefan et al. (2018) zum Ziel, die Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und der Schlafqualität sowie der Schlafdauer herauszufinden. Dabei wurden 894 Personen über 65 Jahre zu ihrer körperlichen Aktivität, der Schlafdauer und der Schlafqualität befragt. Die Fragen wurden mittels Fragebogen durch die Teilnehmenden, welche in einem Pflegeheim wohnten, jedoch selbständig waren, beantwortet. Die Ergebnisse der Umfrage zeigten, dass Personen, welche eine kurze Schlafdauer (< 6 h) haben, mit geringerer Wahrscheinlichkeit angaben, die Bewegungsempfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (2010) einzuhalten. Auf der anderen Seite gaben Personen mit einer langen Schlafdauer (> 9 h) mit hoher Wahrscheinlichkeit an, die Bewegungsempfehlungen der Weltgesundheitsorganisation einzuhalten. Angesichts der positiven Auswirkungen von Bewegung in verschiedenen Bevölkerungsgruppen und des engen Zusammenhangs zwischen gesundem Altern und Schlafqualität haben Solis-Navarro et al. (2023) eine systematische Überprüfung und Metaanalyse durchgeführt. Dazu fokussierten sie sich auf verschiedene Untersuchungen zum Thema Auswirkungen von körperlichen Trainingsprogrammen bei älteren Erwachsenen auf die Schlafqualität. Dazu wurden 2612 ältere Menschen analysiert (1304 in der Interventions- und 1308 in der Kontrollgruppe). Sie stellten fest, dass häusliche Programme (definiert als mindestens 50 % ihrer Durchführung im eigenen zu Hause) die Schlafqualität nicht wirksam verbesserten. Im Gegensatz dazu ermöglichten Programme, die in einer Einrichtung durchgeführt wurden, eine deutliche Verbesserung der Schlafqualität. Auch eine weitere Studie von Nguyen und Kruse (2012) zeigte, dass sich Bewegung positiv auf die Schlafqualität bei älteren Personen auswirkt. Ziel der Studie war es, die Auswirkungen von Thai-Chi auf die Schlafqualität, die Gleichgewichtsleistung und die kognitiven Leistungen zu erforschen. Dafür wurden 96 Personen im Alter von 60 bis 79 Jahren, welche keine Erfahrungen im Thai-Chi hatten, getestet. Zufällig wurden die Teilnehmenden in eine Kontrollgruppe und eine Interventionsgruppe eingeteilt. Während die Kontrollgruppe nach den PRE-Tests angewiesen wurde, ihre Routinen beizubehalten, absolvierte die Interventionsgruppe zweimal wöchentlich für sechs Monate ein

Thai-Chi Training. Das Training enthielt Elemente des Gleichgewichts, der Körperhaltungskorrektur und der Konzentration. Mithilfe des PSQI wurden die Unterschiede der Schlafqualität ausgewertet. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten die Ergebnisse der Interventionsgruppe nach dem sechsmonatigen Training signifikante Verbesserungen der Schlafqualität. Ebenfalls zeigten die Ergebnisse der Gleichgewichtstests und der kognitiven Leistungstests eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu den Teilnehmenden der Kontrollgruppe. Jedoch ist nicht klar, ob sich die Schlafqualität aufgrund des verbesserten Gleichgewichts oder der gestiegenen kognitiven Leistung verbessert hat und bedarf weiterer Untersuchungen. Der Aspekt des Gleichgewichtstrainings wird in der vorliegenden Masterarbeit in den Fokus gerückt. Es wird untersucht, ob sich die Schlafqualität durch Gleichgewichtstraining auch ohne mentale Komponente verbessern kann. Die Forschungslücke, inwiefern sich das Gleichgewichtstraining auf die Schlafqualität bei älteren Erwachsenen auswirkt, wird somit empirisch untersucht.

## **1.4 Ziel und konkrete Fragestellung**

### **Ziel der Studie**

In dieser Studie wurde evaluiert, ob Gleichgewichtstraining zur Verbesserung der Schlafqualität bei älteren Erwachsenen genutzt werden kann. Dazu wurde untersucht, inwiefern sich die Schlafqualität der Teilnehmenden durch ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining verändert und ob sich diese Veränderung von jener einer Kontrollgruppe unterscheidet.

### **Fragestellung**

Basierend auf dem Forschungsziel ergeben sich die folgenden Forschungsfragen.

#### **Forschungsfrage 1**

Führt ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining mit mindestens 30 Trainings zu einer signifikanten Veränderung der Gleichgewichtsleistung bei älteren Erwachsenen im Vergleich zur Kontrollgruppe, die keine signifikante Veränderung zeigt.

#### **Hypothese 1**

Ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining verbessert die Gleichgewichtsleistung von älteren Erwachsenen signifikant, während die Kontrollgruppe keine signifikanten Verbesserungen zeigt.

#### **Forschungsfrage 2**

Besteht ein signifikanter Unterschied in der Veränderung der Schlafqualität zwischen den älteren Personen mit Gleichgewichtstraining und ohne Gleichgewichtstraining nach der dreimonatigen Intervention?

#### **Hypothese 2**

Die Schlafqualität der Interventionsgruppe verbessert sich signifikant im Vergleich mit der Kontrollgruppe, die keine signifikante Veränderung zeigt.

- H2a: Die Latenzzeit beim Einschlafen der Interventionsgruppe verbessert sich signifikant im Vergleich mit der Kontrollgruppe, die keine signifikante Veränderung zeigt.
- H2b: Die Schlaffeffizienz der Interventionsgruppe verbessert sich signifikant im Vergleich mit der Kontrollgruppe, die keine signifikante Veränderung zeigt.
- H2c: Der Tiefschlaf der Interventionsgruppe verbessert sich signifikant im Vergleich mit der Kontrollgruppe, die keine signifikante Veränderung zeigt.

## 2 Methode

Diese Studie wurde als Teilprojekt des mehrjährigen Forschungsprojekts «Förderung der modulatorischen Kapazität der intrakortikalen Hemmung bei Jung und Alt: Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Schlaf» durchgeführt.

### 2.1 Untersuchungsgruppe

Die Studie richtete sich an gesunde Erwachsene im Alter von 65 bis 85 Jahren. Diese wurden über Flyer, Zeitungsartikel in deutscher und französischer Sprache sowie über Pro Senectute Freiburg rekrutiert. Mindestens eine Woche vor dem Start der Messungen wurden potenzielle Teilnehmende zu einer Informationsveranstaltung eingeladen. Dabei wurde über Ablauf, Verfahren, voraussichtliche Dauer, Art und Zweck der Studie sowie über potenzielle Vorteile, Risiken und Nebenwirkungen informiert. Zudem wurde in einem persönlichen Gespräch bestimmt, ob die rekrutierten Personen den Einschluss- respektive Ausschlusskriterien entsprechen.

#### **Einschlusskriterien:**

- Gesunde Teilnehmende
- Alter von 65 bis 85 Jahren
- Schriftliche Einverständniserklärung

#### **Ausschlusskriterien:**

- Verletzung der unteren Extremitäten
- Schwere klinische Rückenschmerzen oder Rückenverletzungen
- Orthopädische Erkrankungen
- Kardiovaskuläre Erkrankungen
- Diagnostizierte Schlafstörungen

Insgesamt entsprachen  $n = 40$  Teilnehmende den Kriterien. Diese wurden zufällig in eine Interventions- ( $n = 20$ ) und eine Kontrollgruppe ( $n = 20$ ) eingeteilt. Zwei Personen pro Gruppe haben die Studienteilnahme abgebrochen. Da sich bei einer Person der Interventionsgruppe die Elektroden abgelöst haben, konnten die Schlafdaten dieser Person ebenfalls nicht verwendet werden. Die Daten aus den Gleichgewichtsmessungen wurden von dieser Person trotzdem verwendet. Somit ergaben sich eine Interventionsgruppe (Gleichgewichtsdaten:  $n = 18$ ;

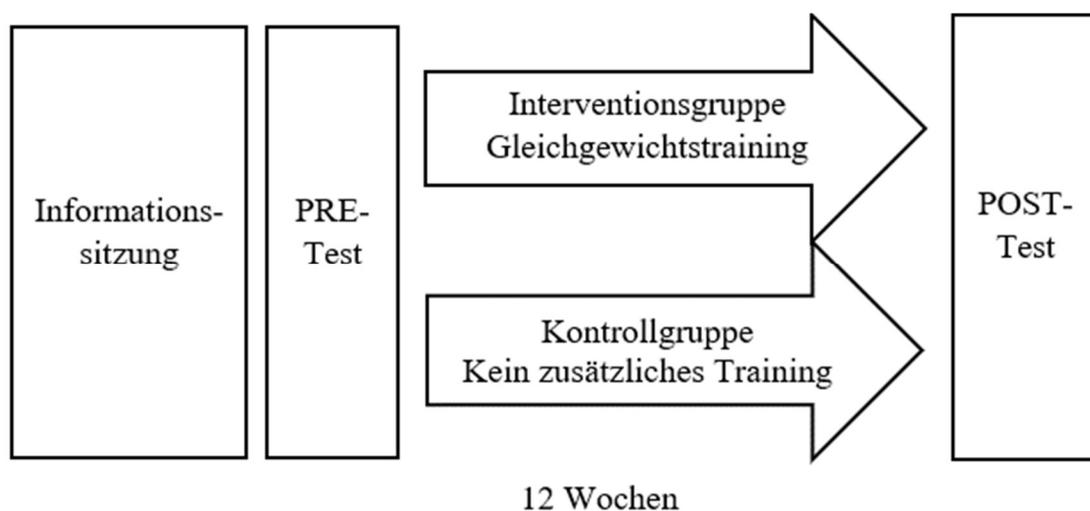
Schlafdaten:  $n = 17$ ) und eine Kontrollgruppe ( $n = 18$ ). Die Teilnehmenden unterzeichneten eine Einverständniserklärung, welche darlegte, dass die Teilnahme freiwillig ist und jederzeit beendet werden kann. Die Teilnahme wurde mit 250 Franken entschädigt.

## 2.2 Untersuchungsdesign

Anhand einer dreimonatigen Längsschnittstudie wurde untersucht, wie sich Gleichgewichtstraining auf die Schlafqualität bei älteren Erwachsenen auswirkt. Die Interventionsstudie entspricht einem randomisierten Kontrollgruppendesign (Bridgman et al., 2003). Eine Verblindung wurde nicht vorgenommen, die Testpersonen waren sich folglich im Klaren über ihre Zugehörigkeit zur Interventions- oder Kontrollgruppe. Um Verzerrungen aufgrund der Voreingenommenheit zu vermeiden, wurde die Kontrollgruppe dazu angehalten, während des Untersuchungszeitraums von drei Monaten ihren gewohnten Lebensstil weiterzuführen. Mindestens eine Woche nach der Informationsveranstaltung wurde mit allen Teilnehmenden, welche den erwähnten Kriterien entsprachen, mit den PRE-Tests begonnen. Das Training der Interventionsgruppe startete maximal zwei Wochen nach den PRE-Tests und dauerte drei Monate. Maximal 10 Tage nach der letzten Trainingseinheit wurden die POST-Tests mit den Teilnehmenden durchgeführt (Abbildung 3).

### Abbildung 3

#### *Untersuchungsdesign*



Die PRE-Tests umfassten drei Termine in den Laboren der Universität Freiburg. An zwei davon wurde den Teilnehmenden ein mobiles Gerät (SOMNOscreen Neuro, SOMNOmedics GmbH,

Randersacker, Deutschland) zur EEG-Messung montiert, um die jeweils darauffolgende Nacht zu Hause aufzuzeichnen. Dabei galt die erste Nacht als Anpassungsnacht. Zudem wurde vor dem Nachtschlaf die subjektive Schlafqualität und die Schlafgewohnheiten der letzten vier Wochen mittels PSQI (Buysse et al., 1989) sowie der individuelle Suchtmittelkonsum erhoben. Am dritten Termin wurden verschiedene Kraft- und Gleichgewichtstests sowie neurophysiologische Messungen durchgeführt. Im zweiten Teil des Termins hielten die Teilnehmenden einen 90-minütigen Mittagsschlaf, währenddessen über dem primären Motorkortex mit transkraniellen Magnetstimulationen (TMS) stimuliert wurde und EEG-Daten zum späteren offline scoring aufgezeichnet wurden. Vor und nach dem Mittagsschlaf bearbeiteten die Teilnehmenden weitere Fragebögen. Für die vorliegende Arbeit sind nur die Gleichgewichtstests auf dem Kreisel, der Tandemstand und der Nachtschlaf von Bedeutung, diese werden im Kapitel 2.3 genauer beschrieben. Nach den PRE-Tests absolvierte die Interventionsgruppe ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining (siehe Kapitel 2.5), während die Kontrollgruppe ihren Lebensstil normal weiterführte. Nach der dreimonatigen Interventionsphase folgten die POST-Tests. Diese umfassten dieselben Datenerhebungen wie die PRE-Tests, jedoch wurde keine Anpassungsnacht mehr absolviert.

## **2.3 Datenerhebung**

Für die Messungen (ausser beim Schlaf) trugen die Teilnehmenden Sportkleidung sowie geschlossene Sportschuhe. Die Teilnehmenden trugen bei den PRE- und den POST-Tests die gleichen Schuhe.

### ***2.3.1 Vorbereitung / Aufwärmen***

Zur Vorbereitung auf Kraft- und Gleichgewichtsmessungen wurde jeweils ein standardisiertes Aufwärmen durchgeführt. Dabei wurden auf einer Strecke von 10 m verschiedene Übungen absolviert: dreimal normal marschieren, zweimal bewusst über die Fersen abrollen, zweimal auf den Zehenspitzen gehen, zweimal auf den Fersen gehen. Danach folgte ein Marschieren auf dem Laufband (M-gait, Motek, Niederlande). Begonnen wurde mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 0.8 m/s. Die Geschwindigkeit wurde danach alle 30 s um 0.05 m/s erhöht, bis diese nicht mehr angenehm zum Laufen war. Das Laufband wurde danach wieder langsamer gestellt, damit die bevorzugte Geschwindigkeit zum Marschieren bestimmt werden konnte. Die Probanden waren auf dem Laufband mit einem Sicherungsgurt gesichert.

### ***2.3.2 Tandemstand***

Der Tandemstand wurde für die Untersuchung gewählt, da mit einer grossen Heterogenität der Gleichgewichtsleistungen zu rechnen war (Granacher et al., 2012). Der Tandemstand gilt als einfacher statischer Gleichgewichtstest und sollte für alle Teilnehmenden durchführbar sein (Wälchli et al., 2018). Beim Tandemstand wurden die Teilnehmenden angewiesen, ihren linken Fuss direkt vor dem rechten Fuss zu platzieren, so dass sich die Zehen des rechten und die Ferse des linken Fusses berühren. Zusätzlich wurden sie angewiesen, die Hände auf die Hüfte zu stützen. Anschliessend sollten sie so ruhig wie möglich auf einer Kraftmessplatte stehen. Nach einem Probeversuch zur Angewöhnung wurden zwei Versuche à je 20 s gemessen. Zwischen den Versuchen hatten die Teilnehmenden 30 s Pause.

### ***2.3.3 Kreiseltest***

Mit dem Kreiseltest wurde gemessen, wie ruhig die Teilnehmenden beidbeinig mit auf den Hüften gestützten Händen auf einem Kreisel stehen können. Ein Kreuz an der Wand auf Augenhöhe, rund drei Meter vor der Versuchsperson, diente als visuelle Hilfe, musste aber nicht zwingend genutzt werden. Zur Messung wurde der Kreisel auf einer Kraftmessplatte platziert. Nach einem Probeversuch zur Angewöhnung wurde mit dem einfachsten Kreisel gestartet. Waren die Teilnehmenden in der Lage, auf dem Kreisel zu balancieren, wurde zum nächstschwierigeren Kreisel gewechselt, wobei erneut ein Probeversuch gemacht werden durfte. Es wurden maximal vier Schwierigkeitsstufen getestet. Bis zu dem Kreisel, auf dem die Testperson das Gleichgewicht maximal noch halten konnte, wurden zwei Messungen à 20 s gemacht. Zur Kontrolle wurden zwei Versuche auf dem nächsthöheren Schwierigkeitsgrad durchgeführt, sodass sichergestellt werden konnte, dass das maximale Level bereits zuvor erreicht wurde. Die Position der Hände während der Messung und die Blickrichtung wurden notiert, sodass diese bei den PRE- und den POST-Tests gleich gemacht wurden. Ebenfalls wurden die Anzahl Kontakte mit dem Sicherheitshandlauf notiert. Berührte eine Testperson den Handlauf während der Messung, galt der Versuch als ungültig und er wurde bei der Analyse nicht berücksichtigt. Der Kreiseltest wurde für die Untersuchung gewählt, da die Schwierigkeit durch das Wechseln der Kreisel erhöht werden kann. Auf diese Weise konnten die Teilnehmenden auf ihrem Niveau gefordert und Deckeneffekte vermieden werden (siehe Kapitel 1.2.3).

### ***2.3.4 Objektive Schlafqualität***

Für die Messung der objektiven Schlafqualität wurde die Polysomnografie gewählt. Sie gilt als der goldene Standard bei der objektiven Schlafmessung (Hertenstein et al., 2018; Marino et al.,

2013). Die Polysomnografie liefert dank dem Messen von Gehirnströmen, Augenbewegungen und der Muskelaktivität zuverlässige Daten (Iber et al., 2007). Für das Kleben der Elektroden kamen die Probanden abends vor dem Nachtschlaf in das Labor der Universität Freiburg. Die Parameter wurden dann mittels mobilem EEG während des Nachtschlafs zu Hause gemessen, welches im Abschnitt 2.4.4 genauer beschrieben wird. Die objektive Schlafqualität wurde anhand der Latenzzeit beim Einschlafen, der Schlafeffizienz und dem Tiefschlaf bewertet (genauer beschrieben in Kapitel 2.6.2). Diese Schlafkennwerte wurden bereits in einigen wissenschaftlichen Arbeiten, welche den Zusammenhang und die Auswirkungen von Sport auf Schlaf untersuchten, verwendet und daher auch für diese Studie gewählt (Brand et al., 2010; Edinger et al., 1993). Ebenfalls werden diese vom Manual der AASM als Schlafkennwerte empfohlen (Iber et al., 2007).

## **2.4 Untersuchungsinstrumente**

### ***2.4.1 Kraftmessplatte***

Die Verschiebungen des Druckpunktes beim Tandemstand und bei den Kreiseltests wurden mit einer 508 x 464 mm grossen Kraftmessplatte (OR6-7 Kraftplattform, Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, USA) gemessen. Messungen mit der Kraftmessplatte haben sich als zuverlässig erwiesen (Palmieri et al., 2002). Die Kraftmessplatte war mit einem diagonalen Strich versehen, welcher beim Tandemstand half, die richtige Fussposition einzunehmen. Zur Sicherheit befand sich ein Handlauf vor der Kraftmessplatte.

### ***2.4.2 Kreisel***

Es wurden vier Kreisel (Original SNTL, Koordinations-Systeme, Deutschland) mit unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen verwendet. Dabei unterscheiden sich die Kreisel in der Höhe und dem Durchmesser der unteren Halbkugel. Je höher der Kreisel und je kleiner der Durchmesser der Halbkugel, desto schwieriger war der Kreisel. Es wurde zwischen vier Kreiseln unterschieden. Kreisel 1 (K1), Kreisel 2, Kreisel 3 und Kreisel 4, wobei K1 den einfachsten und Kreisel 4 den schwierigsten Kreisel darstellte. Bei den Messungen wurde eine Gummimatte zwischen Kreisel und Kraftmessplatte platziert, um ein Rutschen des Kreisels zu vermeiden.

### **2.4.3 Aufzeichnungen Recorder Plus**

Die Aufzeichnungen der Gleichgewichtstests wurden mit der graphischen Benutzeroberfläche Recorder Plus gemacht. Dabei wurden die manuellen Trigger, welche zum Start jeder Messung gesetzt wurden sowie das Signal der Kraftmessplatte aufgezeichnet. Recorder Plus wurde basierend auf Python von den Forschenden der Universität Freiburg programmiert und wird ebenfalls für das Gesamtprojekt «Förderung der modulatorischen Kapazität der intrakortikalen Hemmung bei Jung und Alt: Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Schlaf» verwendet.

### **2.4.4 Elektroenzephalographie**

Der Nachtschlaf wurde mit mobilen EEG-Aufzeichnungsgeräten (SOMNOscreen Neuro, SOMNOmedics GmbH, Randersacker, Deutschland) gemessen. Den Teilnehmenden wurden sechs Gold Cup Elektroden (Fz, Cz, Pz, Fpz, M1 und M2) nach dem internationalen 10-20 System geklebt (Milnik, 2009). Referenziert wurden die Elektroden dabei auf Cz, die Elektrode Fpz diente als Erdungselektrode. Zusätzlich wurden zwei EOG- und zwei EMG-Elektroden geklebt. Mit dem EOG wurden anhand von elektrischen Signalen die Bewegungen der Augen und mit dem EMG die Aktivitäten des Schluckmuskels über das mobile Aufzeichnungsgerät aufgezeichnet. Sämtliche Daten wurden danach auf die DOMINO-Software (SOMNOmedics GmbH, Randersacker, Deutschland) übertragen. Um die relevanten Zeitpunkte für die Auswertung zu bestimmen, setzten die Teilnehmenden den Marker «Licht aus» zum Zeitpunkt, an dem sie ins Bett gingen und den Marker «Licht an» zum Zeitpunkt, an dem sie aufstanden.

## **2.5 Gleichgewichtsintervention**

Das dreimonatige Gleichgewichtstraining beinhaltete mindestens 30 Trainings pro Person. Es wurden sechs Trainings pro Woche angeboten. Die Teilnehmenden konnten selbst auswählen, wann sie am Training teilnehmen. War eine Person in einer Woche verhindert, so konnten die verpassten Trainings in anderen Wochen kompensiert werden. Die Trainings wurden von zwei Sportstudierenden der Universität Freiburg geleitet, welche ebenfalls die Anwesenheiten kontrollierten. Das 45-minütige Training beinhaltete ein Aufwärmen und einen Hauptteil, in dem mit Hilfe von weichen Matten, Kreiseln und Wackelbrettern das Gleichgewicht trainiert wurde. Die Übungen variierten von Training zu Training und alle Teilnehmenden machten alle Übungen, je nach Niveau in einer einfacheren oder schwierigeren Version. Trotz des Trainings in Gruppen wurden alle Teilnehmenden auf ihrem Niveau gefördert. Die Schwierigkeit der Übungen wurde schrittweise gesteigert. Die Trainingsintensität wurde aufgrund der Studie von Lesinski et al. (2015b) gewählt, welche den Trainingsaufwand für ein effektives

Gleichgewichtstraining bei älteren Erwachsenen ermittelte. Die verwendeten Übungen wurden in der Übersichtsarbeit von Granacher et al. (2011a) als wirksame Trainingsmethoden bestätigt und haben sich in vergangenen Studien als wirksam erwiesen (Granacher et al., 2006, 2009; Gruber et al., 2007).

## **2.6 Datenanalyse**

### **2.6.1 Gleichgewicht**

Gesamt wurden vier Gleichgewichtsleistungen analysiert, der Tandemstand, die drei verschiedenen Kreiselleistungen beim K1, das beste Kreiselniveau (BKN) und die Leistung beim schwierigsten, für die Testperson durchführbaren Kreisel (Kmax) (siehe unten). Für die Gleichgewichtsanalyse wurden in einem ersten Schritt die gemessenen 20 s auf 15 s gekürzt. Die ersten und die letzten 2.5 s wurden nicht berücksichtigt, um allfällige Druckpunktverschiebungen am Anfang oder am Ende, welche aufgrund des Loslassens oder Festhaltens des Handlaufes entstehen können, auszublenden. Um den Einfluss von einzelnen starken Druckpunktverschiebungen zu minimieren, wurde der Druckpunktverschiebungsbereich Ellipse 95 % gewählt und in den verschiedenen Gleichgewichtstests berechnet. Auf diese Weise werden die grössten 5 % der Druckpunktverschiebungen nicht in die Analyse miteinbezogen. Zur Gleichgewichtsanalyse diente ein standardisiertes Matlab-Skript, welches für die Datenauswertung des gesamten Forschungsprojekts genutzt wurde. Für die weiteren Analysen wurden die Berechnungen der Leistungen im Tandemstand sowie den einzelnen Kreiseltests wie folgt durchgeführt und in einer Excel-Tabelle (Microsoft Excel 2013) zusammengetragen.

**Tandemstand.** Von den PRE- und POST-Tests wurde jeweils der Mittelwert des Druckpunktverschiebungsbereichs der beiden Tandemstand-Versuche ermittelt.

**K1.** Von den PRE- und POST-Tests wurde jeweils der Mittelwert des Druckpunktverschiebungsbereichs der beiden Versuche des einfachsten Kreisels ermittelt.

**BKN.** Es wurde das Niveau des schwierigsten Kreisels, den die Teilnehmenden sowohl beim PRE- wie auch beim POST-Test mindestens einmal erfolgreich absolviert haben, ermittelt. Dabei wurde zwischen K1, Kreisel 2, Kreisel 3 und Kreisel 4 unterschieden.

**Kmax.** Von den PRE- und POST-Tests wurde jeweils der bessere Wert des Druckpunktverschiebungsbereichs der beiden Versuche des schwierigsten Kreisels, den die Teilnehmenden sowohl beim PRE- wie auch beim POST-Test mindestens einmal erfolgreich absolviert haben, verwendet. Sofern beim PRE- oder POST-Test der schwierigste Kiesel nur einmal erfolgreich absolviert wurde, wurde der Wert des einen Versuches verwendet.

### **2.6.2 Schlafqualität**

Die Schlafqualität wurde anhand der drei Parameter Latenzzeit beim Einschlafen, Schlaffeffizienz und dem Tiefschlaf bewertet und mit Hilfe von U-Sleep (Perslev et al., 2021) berechnet. Vor dem Auswerten der drei Schlafparameter wurden die rohen Schlafdaten mit dem Brain Vision Analyzer 2.1 (Brain Products, Gilching, Deutschland) aufbereitet. Dabei wurden sie in die richtige Länge geschnitten, gefiltert und referenziert, damit die Daten danach ausgewertet werden konnten. Mithilfe von U-Sleep wurden die Daten anschliessend anhand von 30 s Epochen einem Schlafstadium zugeordnet. Die Daten von U-Sleep wurden mit dem Programm SchlafAus (SleepS, Version 1.5.0.2.) umgeschrieben und verschiedene Parameter des Schlafs in einer Tabelle dargestellt. Mithilfe der Daten konnten die Latenzzeit beim Einschlafen, die Schlaffeffizienz und der Tiefschlaf berechnet werden. Anschliessend wurden diese in einer Excel-Tabelle (Microsoft Excel 2013) zusammengeführt. Folgendermassen wurden die drei Schlafkennwerte mit den Daten von SchlafAus bestimmt.

**Latenzzeit beim Einschlafen.** Die Latenzzeit beim Einschlafen wurde aus der Zeitdifferenz von Licht aus (Testperson geht ins Bett) bis zum Einschlafzeitpunkt, dem erstmaligen Erreichen des Stadiums N1, berechnet. Aufgrund der 30 s Epochen, welche einem Schlafstadium zugeordnet werden, wurde die Latenzzeit beim Einschlafen auf halbe Minuten genau angegeben.

**Schlaffeffizienz.** Schlaffeffizienz ist die Gesamtschlafzeit im Verhältnis zur im Bett verbrachten Zeit. Mit folgender Formel wurde diese mit den Daten von U-Sleep berechnet  $\left(\frac{\text{Gesamtschlafzeit}}{\text{Bettzeit}}\right) * 100$ . Die Schlaffeffizienz wurde in Prozent angegeben.

**Tiefschlaf.** Der Tiefschlaf beinhaltet die Zeit, welche im Verhältnis zur Gesamtschlafzeit im Schlafstadium N3 verbracht wurde. Er wurde von U-Sleep direkt berechnet und in Prozent angegeben.

### **2.6.3 Statistische Analyse**

Die anschließenden statistischen Analysen wurden mit Jamovi Version 2.2.5 (Jamovi Project, 2021) durchgeführt. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage, ob das Gleichgewichtstraining einen signifikanten Einfluss auf die verschiedenen Gleichgewichtsleistungen bei älteren Personen der Interventionsgruppe hatte, wurde eine Mixed ANOVA mit einem Within-Faktor (Zeitpunkt) und einem Between-Faktor (Gruppe) sowie deren Interaktionseffekt durchgeführt. Für jede Gleichgewichtsleistung wurde ein separates Modell erstellt.

Um die zweite Forschungsfrage zu beantworten, ob sich die verschiedenen Schlafkennwerte in der Interventionsgruppe stärker verbesserten als in der Kontrollgruppe, wurde ebenfalls eine Mixed ANOVA mit einem Within-Faktor (Zeitpunkt) und einem Between-Faktor (Gruppe) durchgeführt. Dazu wurde ebenfalls für jeden Schlafkennwert ein eigenes Modell erstellt.

In allen Analysen wurden die Haupteffekte (Gruppe und Zeit) sowie der Interaktionseffekt (Gruppe \* Zeit) auf Signifikanz überprüft.

Um die Voraussetzungen für eine Mixed ANOVA zu überprüfen, wurden sowohl die Residuen auf Normalverteilung mittels QQ-Plots sowie die Varianzhomogenität zwischen den beiden Gruppen PRE sowie POST mittels Levene-Tests kontrolliert. Eine Verletzung der Voraussetzungen könnte bei den Resultaten der Mixed ANOVA zu einer möglichen Verzerrung der p-Werte führen (Knief & Forstmeier, 2021). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass auch unter Verletzung der Normalverteilung der Residuen, die Resultate der Mixed ANOVA robust sein können (Blanca et al., 2023; Schmider et al., 2010). Ebenfalls wird gezeigt, dass die Resultate bei Verletzung der Voraussetzung der Varianzhomogenität trotzdem robust sein können (Marcinko, 2014).

Zusätzlich zu den Mixed ANOVAs wurden bei einem nicht signifikanten Interaktionseffekt sowohl bei den Gleichgewichtsleistungen und den Schlafkennwerten t-Tests mit Tukey-Korrektur durchgeführt. Dadurch konnten die Mittelwerte in den beiden Untersuchungsgruppen (Intervention- und Kontrollgruppe) zwischen den jeweiligen Messzeitpunkten PRE und POST verglichen werden. Bei einem signifikanten Interaktionseffekt wurden stattdessen Tukey post-hoc Tests durchgeführt. Aufgrund der gerichtet formulierten Hypothesen wurden bei den t-Tests und den post-hoc Tests zusätzlich zu den zweiseitigen auch die einseitigen p-Werte angegeben. Wenn die Stichprobendaten in die Richtung der gestellten Hypothesen wiesen,

wurden die zweiseitigen p-Werte mit der Formel  $\frac{p_{zweiseitig}}{2}$  halbiert, um die einseitigen p-Werte zu erhalten. Wenn die Stichprobendaten in umgekehrte Richtung der gestellten Hypothesen wiesen, wurde die Formel  $1 - \frac{p_{zweiseitig}}{2}$  angewendet, um die einseitigen p-Werte zu erhalten. Es wurde ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  verwendet. Zudem wurden die Effektstärken mittels des partiellen Eta-Quadrat ( $\eta^2p$ ) angegeben.

## 3 Resultate

### 3.1 Gleichgewicht

Die Überprüfungen der Voraussetzungen mittels QQ-Plots und den Levene-Tests haben gezeigt, dass die Varianzhomogenität vorhanden, die Normalverteilung der Residuen jedoch in den Analysen nicht perfekt gegeben war.

#### 3.1.1 Tandemstand

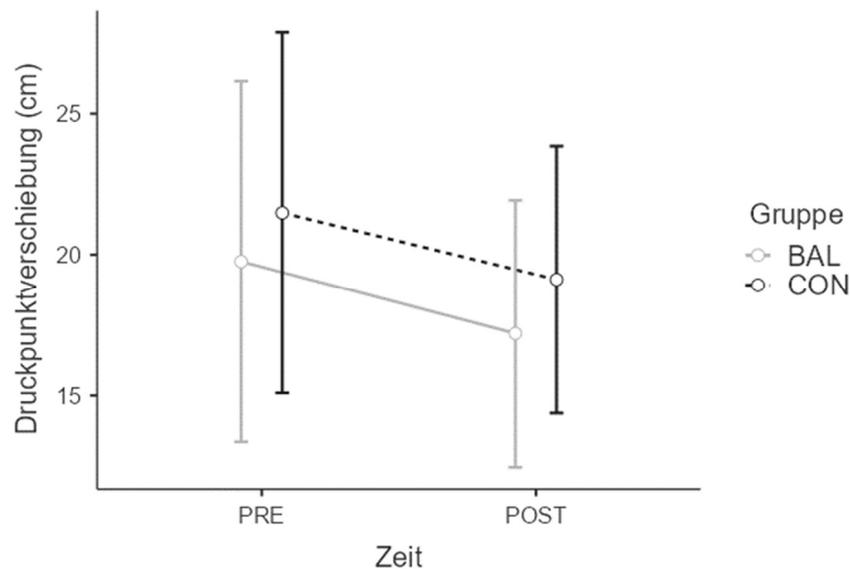
Die Mixed ANOVA zeigte, unabhängig von der Gruppe, keine signifikante Verbesserung in der Tandemstandleistung von PRE zu POST ( $F(1, 34) = 1.825, p = 0.186$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war klein ( $\eta^2p = 0.051$ ). Auch zeigten die Resultate, unabhängig vom Messzeitpunkt, keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe ( $F(1, 34) = 0.278, p = 0.601$ ) mit einer kleinen Effektstärke ( $\eta^2p = 0.008$ ).

Wie in Abbildung 4 zu sehen, zeigt der nicht signifikante Interaktionseffekt zwischen der Zeit und der Gruppe zudem, dass sich die Verbesserungen in der Tandemstandleistung von PRE zu POST nicht zwischen den beiden Gruppen unterschieden ( $F(1, 34) = 0.003, p = 0.958$ ). Die Effektstärke für den Interaktionseffekt war unbedeutend klein ( $\eta^2p = 0.000$ ).

Zusätzliche t-Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Tandemstandleistung der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 19.8, SD = 11.8$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 17.2, SD = 9.1$ );  $t(34) = 0.993, p = 0.755, p_{\text{einseitig}} = 0.377$ . Auch in der Kontrollgruppe zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Tandemstandleistung vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 21.5, SD = 14.8$ ) zum zweiten Messzeitpunkt ( $M = 19.1, SD = 10.6$ );  $t(34) = 0.918, p = 0.795, p_{\text{einseitig}} = 0.397$ . Die Effektstärke für den Gruppeneffekt war ebenfalls sehr klein ( $\eta^2p = 0.008$ ).

## Abbildung 4

### Mittelwerte Tandemstand



*Anmerkung.* Resultate vom Tandemstand. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte vom Tandemstand (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.958$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

### 3.1.2 Kreisel 1 (K1)

Für die K1-Leistung zeigte die Mixed ANOVA ebenfalls keine signifikante Veränderung von PRE zu POST ( $F(1, 34) = 0.700, p = 0.409$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war klein ( $\eta^2p = 0.020$ ). Darüber hinaus gab es keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppe auf die K1-Leistung ( $F(1, 34) = 0.828, p = 0.369$ ), mit einer kleinen Effektstärke ( $\eta^2p = 0.024$ ).

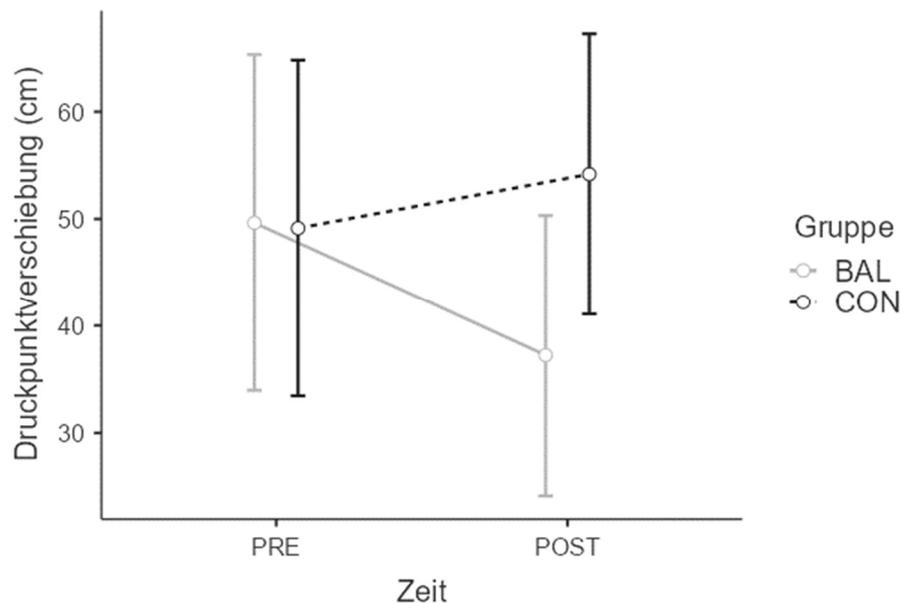
Der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe war knapp nicht signifikant ( $F(1, 34) = 3.924, p = 0.056$ ), was zeigt, dass sich die Veränderungen in den K1-Leistungen über die Zeit nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen unterschieden (Abbildung 5). Die Effektstärke für die Interaktion war mittelgross ( $\eta^2p = 0.103$ ).

Zusätzliche t-Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied in der K1-Leistung der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 49.6, SD = 36.0$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 37.2, SD = 21.9$ );  $t(34) = 1.992, p = 0.211, p_{\text{einseitig}} =$

0.105. In der Kontrollgruppe zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied in der K1-Leistung vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 49.1, SD = 29.1$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 54.2, SD = 31.8$ ),  $t(34) = -0.809, p = 0.850, p_{\text{einseitig}} = 0.575$ .

### Abbildung 5

Mittelwerte Kreisel 1 (K1)



*Anmerkung.* Resultate vom K1. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte vom K1 (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.056$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

#### 3.1.3 Bestes Kreiselniveau (BKN)

Die Mixed ANOVA zeigte eine signifikante Veränderung in der BKN-Leistung von PRE zu POST ( $F(1, 34) = 6.527, p = 0.015$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war gross ( $\eta^2 p = 0.162$ ). Darüber hinaus gab es keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppe auf die BKN-Leistung ( $F(1, 34) = 0.0103, p = 0.920$ ) mit einer kleinen Effektstärke ( $\eta^2 p = 0.000$ ).

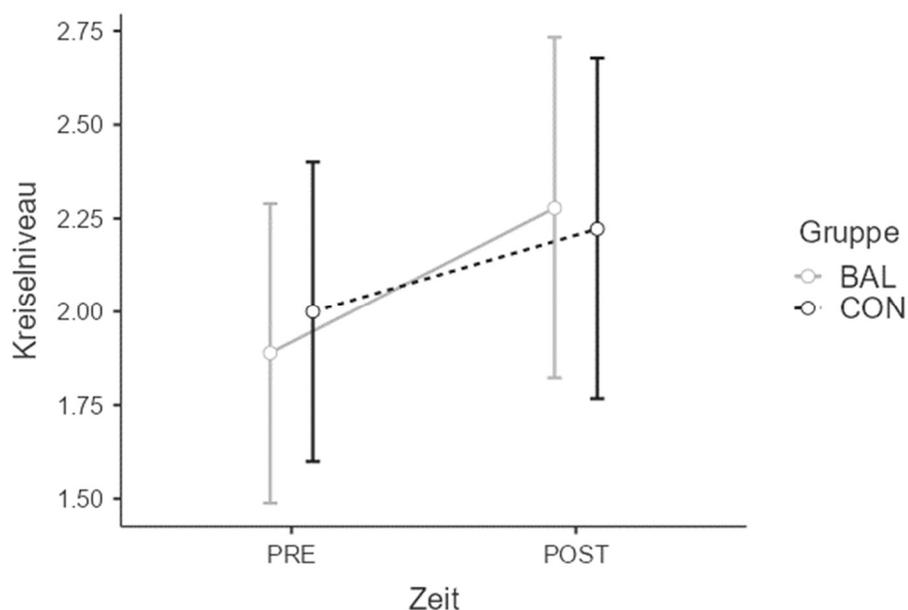
Der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe war nicht signifikant ( $F(1, 34) = 0.489, p = 0.489$ ), was zeigt, dass sich die Veränderungen in der BKN-Leistung von PRE zu POST nicht

signifikant zwischen den beiden Gruppen unterschieden (Abbildung 6). Die Effektstärke für die Interaktion fiel klein aus ( $\eta^2p = 0.014$ ).

Zusätzliche t-Tests zeigten ebenfalls, wenn auch knapp, keinen signifikanten Unterschied in der BKN-Leistung der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 1.89$ ,  $SD = 0.90$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 2.28$ ,  $SD = 0.12$ );  $t(34) = -2.307$ ,  $p = 0.116$ ,  $p_{\text{einseitig}} = 0.058$ . In der Kontrollgruppe zeigte sich auch kein signifikanter Unterschied in der BKN-Leistung vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 2.00$ ,  $SD = 0.767$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 2.22$ ,  $SD = 0.878$ ),  $t(34) = -1.318$ ,  $p = .558$ ,  $p_{\text{einseitig}} = 0.279$ .

### Abbildung 6

Mittelwerte bestes Kreiselniveau (BKN)



*Anmerkung.* Resultate vom BKN. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte des BKN (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.489$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

### 3.1.4 Schwierigster machbarer Kreisel (Kmax)

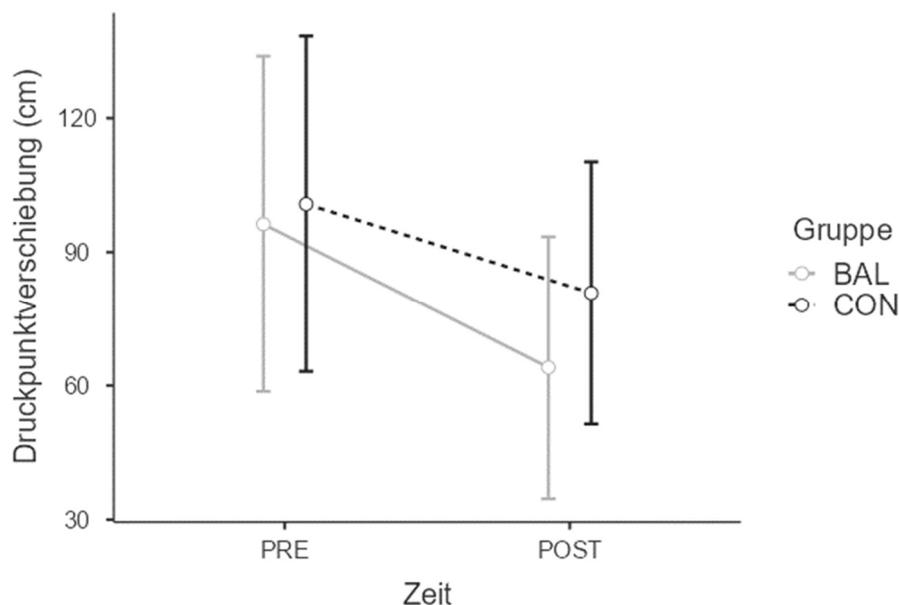
Die Mixed ANOVA zeigte eine signifikante Veränderung in der Kmax-Leistung von PRE zu POST ( $F(1, 34) = 8.912, p = 0.005$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war mittelgross ( $\eta^2p = 0.208$ ). Es gab keinen signifikanten Haupteffekt der Gruppe auf die Kmax-Leistung ( $F(1, 34) = 0.238, p = 0.629$ ) mit einer sehr kleinen Effektstärke ( $\eta^2p = 0.007$ ).

Der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe fiel nicht signifikant aus ( $F(1, 34) = 0.493, p = 0.487$ ; Abbildung 7). Die Effektstärke für die Interaktion war sehr klein ( $\eta^2p = 0.014$ ).

Zusätzliche t-Tests zeigten für den einseitigen Test einen signifikanten Unterschied in der Kmax-Leistung der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 96.3, SD = 58.8$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 64.1, SD = 44.2$ ),  $t(34) = 2.608, p = 0.062, p_{\text{einseitig}} = 0.031$ . In der Kontrollgruppe zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Kmax-Leistung vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 101, SD = 94.1$ ) zum zweiten Messzeitpunkt ( $M = 80.8, SD = 74.7$ ),  $t(34) = 1.614, p = 0.384, p_{\text{einseitig}} = 0.192$ .

#### Abbildung 7

Mittelwerte vom schwierigsten machbaren Kreisel (Kmax)



Anmerkung. Resultate vom Kmax. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte vom Kmax (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 %

Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.487$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

### 3.2 Schlafqualität

Die Überprüfungen der Voraussetzungen mittels QQ-Plots und den Levene-Tests haben gezeigt, dass die Varianzhomogenität bei allen PRE-Tests im Gegensatz zu den POST-Tests nicht vorhanden war. Ebenfalls war die Normalverteilung der Residuen in den Analysen nicht perfekt gegeben.

#### 3.2.1 Latenzzeit beim Einschlafen

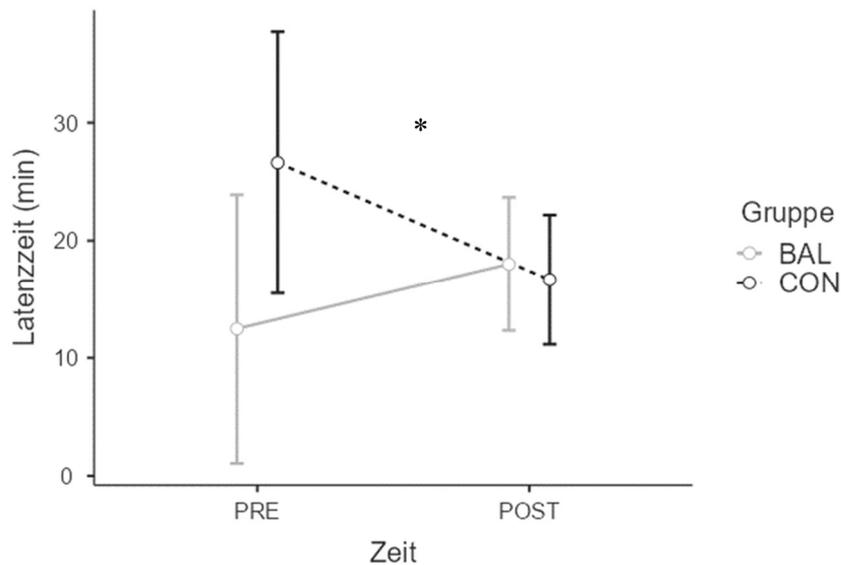
Die Mixed ANOVA zeigte keine signifikante Veränderung in der Latenzzeit beim Einschlafen von PRE zu POST ( $F(1, 33) = 0.539, p = 0.468$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war klein ( $\eta^2p = 0.016$ ). Ebenfalls zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt der Gruppe auf die Latenzzeit beim Einschlafen ( $F(1, 33) = 1.41, p = 0.244$ ) mit einer kleinen Effektstärke ( $\eta^2p = 0.041$ ).

Der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe war jedoch signifikant ( $F(1, 33) = 6.622, p = 0.015$ ), was darauf hindeutet, dass sich die Veränderungen in der Latenzzeit beim Einschlafen über die Zeit zwischen den Gruppen unterschieden. Die Effektstärke für die Interaktion war gross ( $\eta^2p = 0.167$ ). In diesem Fall ist jedoch die genaue Betrachtung der gemessenen Latenzzeiten beim Einschlafen von entscheidender Bedeutung. So zeigte sich (Abbildung 8), dass bei der Kontrollgruppe eine Abnahme der Latenzzeit beim Einschlafen, bei der Interventionsgruppe jedoch eine Erhöhung der Latenzzeit beim Einschlafen festzustellen war. Dies ist genau der gegenteilige Effekt, der in der Hypothese angegeben wird.

Zusätzliche post-hoc Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Latenzzeit beim Einschlafen der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 12.5, SD = 9.85$ ) zum zweiten Messzeitpunkt ( $M = 18.0, SD = 11.7$ ),  $t(33) = -1.282, p = 0.580, p_{\text{einseitig}} = 0.71$ . In der Kontrollgruppe zeigte sich knapp kein signifikanter Unterschied in der Latenzzeit beim Einschlafen vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 26.6, SD = 30.9$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 16.7, SD = 11.2$ ),  $t(33) = 2.273, p = 0.102, p_{\text{einseitig}} = 0.051$ .

## Abbildung 8

### Mittelwerte Latenzzeit beim Einschlafen



*Anmerkung.* Resultate der Latenzzeit beim Einschlafen. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte der Latenzzeit beim Einschlafen (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war signifikant (\* $p = 0.015$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

### 3.2.2 Schlafeffizienz

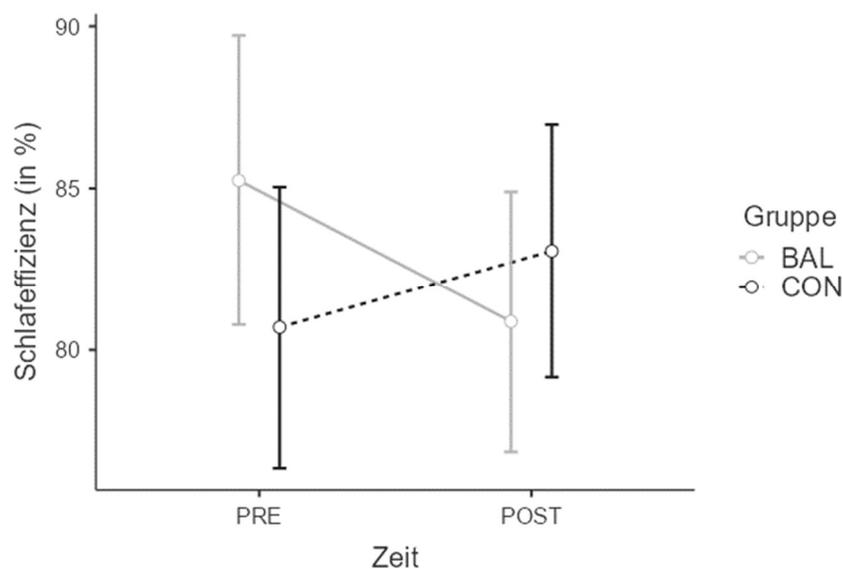
Die Mixed ANOVA zeigte keine signifikante Veränderung in der Schlafeffizienz von PRE zu POST ( $F(1, 33) = 0.314, p = 0.579$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war unbedeutend ( $\eta^2p = 0.009$ ). Es zeigte sich auch kein signifikanter Haupteffekt der Gruppe auf die Schlafeffizienz ( $F(1, 33) = 0.263, p = 0.611$ ) mit einer sehr kleinen Effektstärke ( $\eta^2p = 0.008$ ).

Der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe war knapp nicht signifikant ( $F(1, 33) = 3.554, p = 0.068$ ), was darauf hindeutet, dass sich die Veränderungen in der Schlafeffizienz über die Zeit zwischen den Gruppen knapp nicht signifikant unterschieden (Abbildung 9). Die Effektstärke für die Interaktion war mittelgross ( $\eta^2p = 0.097$ ). Auch hier zeigen die Resultate den gegenteiligen Effekt der Hypothese. Während bei der Kontrollgruppe eine Zunahme der Schlafeffizienz festzustellen war, war bei der Interventionsgruppe das Gegenteil festzustellen, nämlich eine Senkung der Schlafeffizienz.

Weitere t-Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied in der Schlafeffizienz der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 85.2, SD = 6.92$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 80.9, SD = 7.99$ ),  $t(33) = 1.705, p = 0.337, p_{\text{einseitig}} = 0.832$ . In der Kontrollgruppe zeigte sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied in der Schlafeffizienz vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 80.7, SD = 10.7$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 83.1, SD = 8.27$ ),  $t(33) = 0.950, p = 0.778, p_{\text{einseitig}} = 0.389$ .

## Abbildung 9

### Mittelwerte Schlafeffizienz



*Anmerkung.* Resultate der Schlafeffizienz. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte der Schlafeffizienz (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.068$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

### 3.2.3 Tiefschlaf

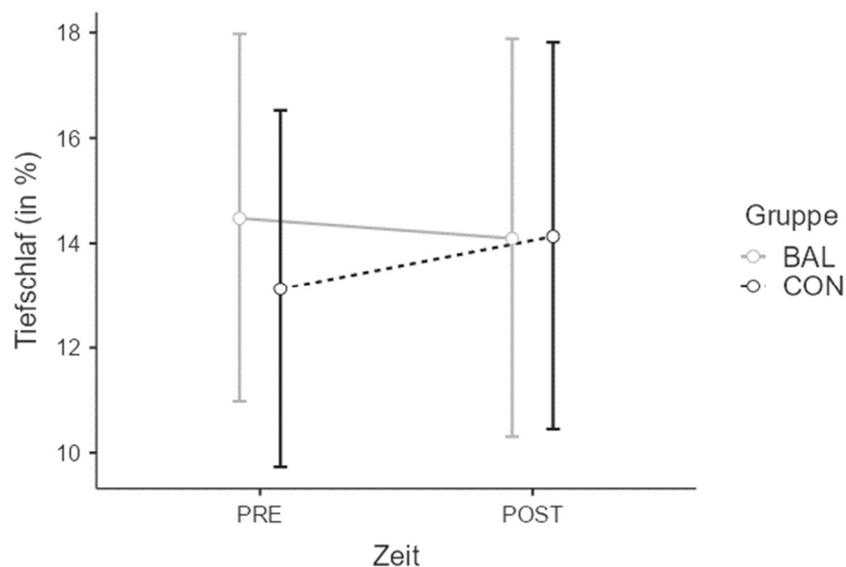
Die Mixed ANOVA zeigte keine signifikante Veränderung im Tiefschlaf über die Zeit hinweg ( $F(1, 33) = 0.233, p = 0.632$ ). Die Effektstärke für den Zeiteffekt war unbedeutend ( $\eta^2 p = 0.007$ ). Der Haupteffekt der Gruppe auf den Tiefschlaf war ebenfalls nicht signifikant ( $F(1, 33) = 0.073, p = 0.788$ ) mit einer sehr kleinen Effektstärke ( $\eta^2 p = 0.002$ ).

Auch der Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe war nicht signifikant (Abbildung 10) ( $F(1, 33) = 1.156, p = 0.290$ ). Die Effektstärke für die Interaktion war ebenfalls sehr klein ( $\eta^2p = 0.034$ ).

Weitere t-Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied im Tiefschlaf der Interventionsgruppe vom ersten Messzeitpunkt vor der Intervention ( $M = 14.5, SD = 8.91$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 14.1, SD = 8.79$ ),  $t(33) = 0.413, p = 0.976, p_{\text{einseitig}} = 0.512$ . Auch in der Kontrollgruppe zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Tiefschlaf vom ersten Messzeitpunkt ( $M = 13.1, SD = 4.78$ ) zum zweiten Messzeitpunkt nach der Intervention ( $M = 14.1, SD = 6.46$ ),  $t(33) = -1.118, p = 0.681, p_{\text{einseitig}} = 0.340$ .

### Abbildung 10

*Mittelwerte Tiefschlaf*



*Anmerkung.* Resultate des Tiefschlafs. Der Plot zeigt die geschätzten Mittelwerte des Tiefschlafs (Punkte) der beiden Gruppen von PRE und POST sowie die dazugehörigen 95 % Konfidenzintervalle. Der Interaktionseffekt war nicht signifikant ( $p = 0.290$ ). Interventionsgruppe = BAL / Kontrollgruppe = CON.

## 4 Diskussion

### 4.1 Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die Gleichgewichtsleistung

Obwohl in der Interventionsgruppe bei allen Tests zur Gleichgewichtsleistung zwischen dem Messzeitpunkt vor der Intervention und dem Messzeitpunkt nach der Intervention eine Verbesserung festgestellt wurde, war diese lediglich bei der Gleichgewichtsleistung des Kmax signifikant. Bei allen anderen Gleichgewichtsleistungen wurden in der Interventionsgruppe in der Stichprobe zwar Verbesserungen festgestellt, jedoch fielen diese nicht signifikant aus. Auch in der Kontrollgruppe wurden, bei drei der vier Gleichgewichtstests, positive Tendenzen festgestellt. Diese fielen jedoch allesamt nicht signifikant aus. Abgesehen vom K1 Test zeigten die Interventions- und die Kontrollgruppe die gleichen Verbesserungstendenzen über die Zeit. In der Stichprobe fielen die Verbesserungen der Interventionsgruppe über die Zeit bei allen vier Tests höher aus als in der Kontrollgruppe. Jedoch unterschieden sich die Verbesserungen der Interventionsgruppe in keinem der vier Tests signifikant von den Verbesserungen der Kontrollgruppe.

Obwohl die Wahl der Übungen des Gleichgewichtstraining den Empfehlungen von Granacher et al. (2011a) entsprachen und auch die Dauer des Trainings nach den Empfehlungen von Lesinski et al. (2015b) gemacht wurde, konnten keine signifikanten Interaktionseffekte gefunden werden. Auch weitere Empfehlungen aus der Literatur wurden beim Gleichgewichtstraining berücksichtigt. So wurde durch das Erhöhen des Schwierigkeitsgrades versucht die Probanden herauszufordern (Cadore et al., 2013). Anders als in der vorliegenden Studie konnten bei der Untersuchung von Granacher et al. (2009) bei einem ähnlichen Gleichgewichtstraining signifikante Verbesserungen bei älteren Männern in der Gleichgewichtsleistung festgestellt werden. Dabei wurde das Training bei beiden Studien während drei Monaten mit drei Trainings pro Woche durchgeführt. Trainiert wurde bei beiden mit Wackelbrettern, Kreiseln und weichen Matten. Die Studie von Granacher et al. (2009) konnte mit einem ähnlichen Gleichgewichtstraining sowohl Verbesserungen in den einfacheren Gleichgewichtstests als auch dem Functional Reach Test, aber auch in schwierigeren Tests auf dem Posturomed zeigen. Eine mögliche Erklärung für die vorliegenden Resultate findet man in der Studie von Taube et al. (2010). Die Studie zeigte das Ausmass der Trainingsanpassung in Relation mit dem Schwierigkeitsgrad des Gleichgewichtstests. Dabei wurden in der Studie Gleichgewichtstests in verschiedenen Schwierigkeitsstufen durchgeführt. Die Resultate zeigten, dass in einfacheren Tests keine

Verbesserungen festgestellt werden konnten. In schwierigeren Tests konnten bei fast allen Teilnehmenden der Interventionsgruppe Verbesserungen festgestellt werden. Ähnliches ist bei der vorliegenden Studie zu beobachten. Beim Tandemstand, dem einfachsten Gleichgewichtstest der Untersuchung, wurden keine signifikanten Verbesserungen festgestellt. Jedoch führten die schwierigeren Tests zu Verbesserungen in den Gleichgewichtsleistungen. So konnten beim Kmax signifikante Verbesserungen der Interventionsgruppe festgestellt werden. Auch beim BKN-Test konnten Verbesserungen, wenn auch knapp nicht signifikant, beobachtet werden. Es ist daher möglich, dass allfällige Verbesserungen der Gleichgewichtsleistung bei den einfacheren Tests aufgrund der zu einfachen Testbedingungen nicht erkannt werden konnten (Taubе et al., 2010). Sogenannte Deckeneffekte könnten grössere Verbesserungen bei den einfacheren Tests verhindert haben.

Zusammenfassend kann Hypothese 1 nur teilweise angenommen werden. In der Stichprobe zeigten sich Tendenzen, dass die Intervention zu einer signifikanten Verbesserung der Gleichgewichtsleistung führen kann. Zudem verbesserten sich die Probanden in der Interventionsgruppe zwischen den Messzeitpunkten im Durchschnitt mehr als die Kontrollgruppe. Trotzdem waren die Resultate auf gängigen Signifikanzniveaus zu wenig aussagekräftig. Dies äusserte sich darin, dass die Interaktionseffekte zwischen der Zeit und der Gruppe bei allen Tests insgesamt nicht signifikant ausfielen. Dementsprechend kann die Forschungsfrage, ob ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining der Interventionsgruppe zu einer signifikanten Veränderung der Gleichgewichtsleistung bei älteren Erwachsenen im Vergleich zur Kontrollgruppe führt, nicht abschliessend beantwortet werden.

#### **4.2 Einfluss von Gleichgewichtstraining auf die Schlafqualität**

Die Überprüfung der verschiedenen Schlafkennwerte zeigte, dass durch die Intervention keine signifikanten Verbesserungen in Bezug auf die Latenzzeit beim Einschlafen, die Schlafeffizienz und den Tiefschlaf nachgewiesen werden konnten. Speziell bei Hypothese 2a wurde zwar ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Zeit und Gruppe festgestellt, dieser deutete jedoch auf eine Erhöhung der Latenzzeit beim Einschlafen in der Interventionsgruppe hin, was der ursprünglichen Hypothese widerspricht. Die Kontrollgruppe zeigte eine Abnahme der Latenzzeit beim Einschlafen, die Interventionsgruppe hingegen verzeichnete eine Zunahme, was lediglich auf eine Verbesserung bei der Kontrollgruppe hindeutete.

Für die Schlafeffizienz (Hypothese 2b) und den Tiefschlaf (Hypothese 2c) waren die Veränderungen über die Zeit hinweg nicht signifikant. Auch die Interaktionseffekte waren nicht aussagekräftig genug, um eine klare Differenzierung zwischen den Gruppen zu unterstützen. In beiden Fällen zeigte die Kontrollgruppe leicht positive Trends, während die Interventionsgruppe entgegengesetzte Tendenzen aufwies.

Bei den PRE-Messungen wurde eine Latenzzeit beim Einschlafen von 12.5 min, eine Schlafeffizienz von 85.2 % und ein Tiefschlaf von 14.5 % gemessen. Vergleicht man diese Resultate mit den Richtwerten von gutem Schlaf für ältere Erwachsene aus der Literatur, so deuten sowohl die Latenzzeit beim Einschlafen wie auch die Schlafeffizienz auf eine gute Schlafqualität hin (Ohayon et al., 2017). Der Tiefschlaf, welcher bei 16 bis 20 % für Erwachsene als gut betrachtet wird, war bei der Untersuchung mit 14.5 % tiefer als die Richtwerte der Literatur. Studien zeigen aber, dass der Tiefschlaf mit höherem Alter stark abnimmt (Mitterling et al., 2015; Scullin & Bliwise, 2015). Vergleicht man den Tiefschlaf von 14.5 % von den PRE-Tests und den 14.1 % der POST-Tests mit den Untersuchungen von Mitterling et al. (2015) für Personen über 60 Jahre ist dieser mit 14.9 % in ähnlichem Rahmen. Die Schlafeffizienz von 80.9 % bei den POST-Tests wird von Ohayon et al. (2017) nicht als gute Schlafqualität betrachtet. Die Latenzzeit beim Einschlafen wird mit 18 min in einem erweiterten Rahmen als gut eingestuft.

Eine mögliche Erklärung für die Resultate der Schlafqualität zeigt sich in den Feedbacks der Teilnehmenden. Viele der Probanden der Interventionsgruppe klagten über hohe Temperaturen bei den Schlafmessungen der POST-Tests. Während die PRE-Messungen der Interventionsgruppe im Frühling bei angenehmen Temperaturen gemacht wurden, fanden die POST-Tests rund drei Monate später im Sommer statt. Dabei waren die Temperaturen während dieser Zeit sehr hoch, was die Ergebnisse beeinflusst haben könnte. Gemäss Rasch (2021b) kann die Temperatur nebst weiteren Faktoren die Schlafqualität beeinflussen und ein wichtiger Faktor für eine gute Schlafqualität sein. Diese Interpretation wird durch die eingeführte Literatur in Bezug auf Sport und Schlaf ebenfalls verstärkt, da mittels Studien Verbesserungen der Schlafqualität durch die körperliche Aktivität aufgezeigt werden konnten (Nguyen & Kruse, 2012; Sejbuk et al., 2022; Solis-Navarro et al., 2023; Štefan et al., 2018). In der Untersuchung zeigte sich keine Verbesserung der Schlafqualität, was nebst den Temperaturen auch auf das Ausbleiben signifikanter Gleichgewichtsverbesserungen zurückzuführen sein könnte. Dass sich die Schlafqualität sogar verschlechtert hat, kann somit ebenfalls nicht auf die Intervention des

Gleichgewichtstrainings zurückgeführt werden. Ausschlaggebend könnten viel eher die Bedingungen während den POST-Tests bei der Interventionsgruppe sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die erhobenen Daten keine Unterstützung für die Annahme bieten, dass die Intervention zu einer signifikanten Verbesserung der untersuchten Schlafparameter führt. In allen Fällen zeigten sich negative Effekte, wie eine Erhöhung der Latenzzeit beim Einschlafen, eine Reduktion der Schlafeffizienz und des Tiefschlafs in der Interventionsgruppe. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Intervention nicht die erwarteten positiven Auswirkungen auf die Schlafqualität hatte. Die Hypothesen 2a, 2b und 2c können somit nicht bestätigt werden.

### **4.3 Stärken der Untersuchung**

#### ***4.3.1 Gleichgewichtstraining***

Eine Stärke dieser Untersuchung stellt sicherlich die Wahl des Gleichgewichtstrainings dar. Das Gleichgewichtstraining entsprach den Empfehlungen der Literatur für ältere Erwachsene (Lesinski et al., 2015b). Der Trainingsaufwand wurde aufgrund der Literatur und den Empfehlungen für ältere Erwachsene gewählt. Auch bei der Wahl der Übungen konnten diverse Empfehlungen aus der Literatur miteinbezogen werden. So wurden die Trainingsmethoden mit weichen Matten, Wackelbrettern und Kreiseln nach den Empfehlungen von Granacher et al. (2011a) gewählt. Auch war es das Ziel, den Schwierigkeitsgrad während des Trainingsprozesses zu erhöhen, was ebenfalls den Empfehlungen aus der Literatur entspricht (Cadore et al., 2013; Granacher et al., 2011a).

#### ***4.3.2 Messungen der Gleichgewichtsleistung***

Eine weitere Stärke sind die Messungen der Gleichgewichtsleistung im Labor. Zum einen waren die Rahmenbedingungen für alle Teilnehmenden sowohl für die PRE- als auch für die POST-Tests deckungsgleich. Zudem kann die Druckpunktmessung auf der Kraftmessplatte als valide eingestuft werden und gilt in der Literatur als zuverlässig (Palmieri et al., 2002). Die Wahl der Gleichgewichtstests mit verschiedenen Schwierigkeitsstufen wird in der Literatur empfohlen (Wälchli et al., 2018). Durch verschiedene Schwierigkeitsstufen wird versucht Boden- und Deckeneffekte möglichst zu vermeiden. Die Wahl der Gleichgewichtstests wird aufgrund der Erkenntnisse aus der Literatur als geeignet eingestuft.

### ***4.3.2 Polysomnografie***

Eine weitere Stärke der Untersuchung, ist das Messen der Schlafqualität durch die Polysomnografie. Diese wird in der Literatur als der goldene Standard der Schlafmessung bezeichnet (Herstein et al., 2018; Marino et al., 2013). Im Vergleich zu anderen Messmethoden ist sie zwar um einiges aufwändiger, sie liefert aber dank der Messung von Gehirnströmen, Augenbewegungen und Muskelaktivitäten zuverlässige Daten.

## **4.4 Schwächen der Untersuchung**

### ***4.4.1 Vergleich der Kreisellevel bei Gleichgewichtsmessungen***

Aufgrund der Gleichgewichtsmessungen mit verschiedenen Schwierigkeitsstufen konnte bei jeder Testperson das maximal durchführbare Kreisellevel festgestellt werden. Es zeigte sich bei den PRE-Tests, dass sich sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe nicht alle Testpersonen auf demselben Kreisellevel befanden. In der Interventions- und in der Kontrollgruppe erreichten einige Testpersonen beim PRE-Test lediglich K1 als maximal erreichbares Kreisellevel, während andere bereits K3 erreichten. Bei den POST-Tests konnte in beiden Gruppen eine Verteilung von K1 bis K3 festgestellt werden, eine einzelne Testperson in der Interventionsgruppe erreichte sogar K4. Es wurden nicht explizit die Testpersonen, welche bei den PRE-Tests dasselbe maximal durchführbare Kreisellevel aufwiesen, miteinander verglichen. Es besteht die Möglichkeit, dass Verbesserungen bei den POST-Tests je nach Ausgangslage in Bezug auf das maximal durchführbare Kreisellevel unterschiedlich stark ausfallen könnten. Bei der Untersuchung wurden unterschiedliche Kreisellevel miteinander verglichen.

### ***4.4.2 Verzerrungen aufgrund fehlender Verblindung***

Das Untersuchungsdesign beinhaltet eine Randomisierung, jedoch keine Verblindung (Bridgman et al., 2003). Die Testpersonen wurden dazu angehalten, ihren gewohnten Lebensstil weiterzuführen. Es ist jedoch nicht nachweisbar, inwiefern die Testpersonen dieser Anweisung Folge leisteten. In Anbetracht der verbesserten Testresultate der Kontrollgruppe zwischen PRE- und POST-Test besteht die Möglichkeit, dass die Testpersonen von ihrem gewohnten Lebensstil abgewichen sind. Da die Verblindung diesen Umstand insofern geändert hätte, dass die Testpersonen sich nicht über ihre Gruppenzugehörigkeit im Klaren gewesen wären, hätten bewusste oder unbewusste Verzerrungen minimiert werden können.

#### ***4.4.3 Schlafmessung zu Hause***

Wie im Kapitel 4.2 erwähnt, klagten die Versuchspersonen über hohe Temperaturen bei den POST-Tests. Eine Schwäche der Studie ist daher, dass die Messbedingungen bei den PRE- und den POST-Tests zur Messung der Schlafqualität unterschiedlich waren. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Schlafmessungen durch die Raumtemperatur beeinflusst wurden und die Messungen dadurch nicht aussagekräftig sind. Gemäss Marino et al. (2013) werden Messungen mit der Polysomnografie meist in einem Schlaflabor durchgeführt, einer kontrollierten Umgebung, bei der während den Messungen zudem eine Aufsichtsperson anwesend ist. Nebst der Studie von Marino et al. (2013) wurden Schlafmessungen bei weiteren Studien, wie beispielsweise bei Mitterling et al. (2015), im Schlaflabor durchgeführt. Aufgrund der Resultate und den Berichten der Versuchspersonen muss die Schlafmessung zu Hause als Schwäche der Untersuchung angesehen werden.

#### ***4.4.4 Schlaf während den Nächten zuvor***

Eine weitere Schwäche der Studie zeigt sich darin, dass die Schlafqualität in den Nächten zuvor und die Müdigkeit der Versuchspersonen nicht miteinbezogen wurden. Es ist anhand der objektiven Schlafmessung nicht bekannt, wie lange und wie gut die Personen in der Nacht zuvor geschlafen haben. Aus der Literatur geht hervor, dass sich der Schlaf und die Schlafarchitektur je nach Müdigkeit der Versuchspersonen verändern (Borbély & Achermann, 1999). Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die Probanden bei den PRE- und POST-Tests Unterschiede aufwiesen und dadurch die Resultate beeinflusst wurden.

#### ***4.4.5 Teilweise erfüllte Voraussetzungen für die Mixed ANOVA***

Wie bereits erwähnt, waren die Voraussetzungen der Normalverteilung der Residuen sowie der Varianzhomogenität nicht bei allen durchgeführten Tests gegeben. Es wurde in verschiedenen Studien gezeigt, dass die Mixed ANOVA bei Verletzung dieser Voraussetzungen dennoch robuste Resultate liefern kann (Blanca et al., 2023; Marcinko, 2014; Schmider et al., 2010). Trotzdem sollten die erhaltenen Resultate mit einer gewissen Vorsicht interpretiert werden.

### **4.5 Ausblick**

Weitere Forschungen sind nötig, um den Zusammenhang von Gleichgewichtstraining und der Schlafqualität zu untersuchen. Die Testpersonen waren sich im Klaren über ihre Gruppenzugehörigkeit, was zu einer Voreingenommenheit oder möglichen Verzerrungen führen kann. In einer weiter Untersuchung könnte die Anweisung, den gewohnten Lebensstil aufrecht zu

erhalten, durch eine einfache Verblindung ersetzt werden. Die Testpersonen in der Kontrollgruppe könnten beispielsweise für ein Entspannungsprogramm aufgebeten werden. Zusätzlich könnte mit den durchgeführten Gleichgewichtsmessungen weiterführende Analysen der Testergebnisse vorgenommen werden. Eine mögliche Analyse wäre ein Vergleich innerhalb der gleichen Kreisellevele.

Es ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse aufgrund der Bedingungen während den Schlafmessungen stark beeinflusst wurden und sich die Schlafqualität deshalb verschlechtert hat. Weitere Forschungen können deshalb grundsätzlich mit ähnlichen Methoden wie in der vorliegenden Untersuchung gemacht werden. Wenn möglich, sollten die Messungen der Schlafqualität durch die Polysomnografie im Schlaflabor stattfinden. Dies wurde in vergangenen Studien gemacht und hat sich als zuverlässig erwiesen (Marino et al., 2013; Mitterling et al., 2015). Ebenfalls könnten die Messungen durch Fragebögen ergänzt werden. Dadurch könnte zusätzlich das subjektive Empfinden und der Schlaf in den Nächten zuvor berücksichtigt werden, was für die Interpretation bei einer Abweichung zwischen PRE- und POST-Test relevant sein kann. Zudem wäre spannend zu sehen, ob sich die Resultate bei einer grösseren Stichprobe verändern würden.

## **5 Schlussfolgerung**

Die vorliegende Studie liefert keine Hinweise darauf, dass ein dreimonatiges Gleichgewichtstraining die Schlafqualität von älteren Erwachsenen verbessern kann. Bei den Resultaten der einfacheren Gleichgewichtstests konnten nach dem Training keine signifikanten Verbesserungen festgestellt werden. Die Resultate der schwierigeren Tests konnten nur teilweise Verbesserungen zeigen. In der Interventionsgruppe zeigten sich bei allen Gleichgewichtsmessungen Verbesserungen. In der Kontrollgruppe konnten bis auf K1 ebenfalls Verbesserungen festgestellt werden, was eher unerwartet war. Es wurde davon ausgegangen, dass die Kontrollgruppe bei gleichbleibendem Lebensstil ähnliche Resultate beim PRE- und POST-Test erzielen würde.

Die Resultate zur Schlafqualität konnten die Hypothesen 2a, 2b und 2c nicht bestätigen. Dabei verschlechterte sich die Latenzzeit beim Einschlafen signifikant, bei der Schlafeffizienz und dem Tiefschlaf zeigte sich ein negativer Trend. Es wird davon ausgegangen, dass die unerwarteten Resultate zur Schlafqualität mit den hohen Temperaturen bei den POST-Messungen zusammenhängen und dass diese die Schlafqualität verschlechtern haben. Des Weiteren legen die fehlenden signifikanten Verbesserungen bei den POST-Tests nahe, dass das Gleichgewichtstraining nicht den erwarteten Effekt erzielte und somit auch die positiven Auswirkungen auf die Schlafqualität ausgeblieben sind.

## Literatur

- Abellan van Kan, G., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., Cesari, M., Donini, L. M., Gillette Guyonnet, S., Inzitari, M., Nourhashemi, F., Onder, G., Ritz, P., Salva, A., Visser, M., & Vellas, B. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *13*(10), 881–889. <https://doi.org/10.1007/s12603-009-0246-z>
- Agrawal, Y., Carey, J. P., Hoffman, H. J., Sklare, D. A., & Schubert, M. C. (2011). The modified Romberg Balance Test: Normative data in U.S. adults. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, *32*(8), 1309–1311. <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31822e5bee>
- Ancoli-Israel, S., Cole, R., Alessi, C., Chambers, M., Moorcroft, W., & Pollak, C. P. (2003). The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms. *Sleep*, *26*(3), 342–392. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.3.342>
- Arai, T., Obuchi, S., Inaba, Y., Shiba, Y., & Satake, K. (2009). The relationship between physical condition and change in balance functions on exercise intervention and 12-month follow-up in Japanese community-dwelling older people. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *48*(1), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2007.10.004>
- Bellew, J. W., Fenter, P. C., Chelette, B., Moore, R., & Loreno, D. (2005). Effects of a short-term dynamic balance training program in healthy older women. *Journal of Geriatric Physical Therapy* (2001), *28*(1), 4–8, 27. <https://doi.org/10.1519/00139143-200504000-00001>
- Bertisch, S. M., Herzig, S. J., Winkelman, J. W., & Buettner, C. (2014). National use of prescription medications for insomnia: NHANES 1999-2010. *Sleep*, *37*(2), 343–349. <https://doi.org/10.5665/sleep.3410>
- Besedovsky, L., Lange, T., & Haack, M. (2019). The Sleep-Immune Crosstalk in Health and Disease. *Physiological Reviews*, *99*(3), 1325–1380. <https://doi.org/10.1152/physrev.00010.2018>
- Blanca, M. J., Arnau, J., García-Castro, F. J., Alarcón, R., & Bono, R. (2023). Non-normal Data in Repeated Measures ANOVA: Impact on Type I Error and Power. *Psicothema*, *35*(1), 21–29. <https://doi.org/10.7334/psicothema2022.292>

- Borbély, A. A., & Achermann, P. (1999). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, *14*(6), 557–568. <https://doi.org/10.1177/074873099129000894>
- Brand, S., Beck, J., Gerber, M., Hatzinger, M., & Holsboer-Trachsler, E. (2010). Evidence of favorable sleep-EEG patterns in adolescent male vigorous football players compared to controls. *The World Journal of Biological Psychiatry: The Official Journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry*, *11*(2 Pt 2), 465–475. <https://doi.org/10.1080/15622970903079820>
- Bridgman, S., Dainty, K., Kirkley, A., & Maffulli, N. (2003). Practical aspects of randomization and blinding in randomized clinical trials. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, *19*(9), 1000–1006. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2003.09.023>
- Buyse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, *28*(2), 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
- Cadore, E. L., Rodríguez-Mañas, L., Sinclair, A., & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Research*, *16*(2), 105–114. <https://doi.org/10.1089/rej.2012.1397>
- Caraffa, A., Cerulli, G., Progetti, M., Aisa, G., & Rizzo, A. (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, *4*(1), 19–21. <https://doi.org/10.1007/BF01565992>
- Chen, K.-M., Huang, H.-T., Cheng, Y.-Y., Li, C.-H., & Chang, Y.-H. (2015). Sleep quality and depression of nursing home older adults in wheelchairs after exercises. *Nursing Outlook*, *63*(3), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2014.08.010>
- Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(7), 1510–1530. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c>
- Cohen, S., Doyle, W. J., Alper, C. M., Janicki-Deverts, D., & Turner, R. B. (2009). Sleep Habits and Susceptibility to the Common Cold. *Archives of Internal Medicine*, *169*(1), 62–67. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2008.505>
- Donath, L., Roth, R., Zahner, L., & Faude, O. (2017). Slackline Training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and Balance Performance: A Meta-Analytical Review. *Sports*

- Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(6), 1075–1086. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0631-9>
- Edinger, J. D., Morey, M. C., Sullivan, R. J., Higginbotham, M. B., Marsh, G. R., Dailey, D. S., & McCall, W. V. (1993). Aerobic Fitness, Acute Exercise and Sleep in Older Men. *Sleep*, 16(4), 351–359. <https://doi.org/10.1093/sleep/16.4.351>
- Erlacher, D. (2019). 2. Einblicke in die Schlafforschung. In D. Erlacher (Hrsg.), *Sport und Schlaf* (S. 13–27). Springer-Verlag GmbH, Deutschland. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58132-2>
- Foley, D. J., Monjan, A. A., Brown, S. L., Simonsick, E. M., Wallace, R. B., & Blazer, D. G. (1995). Sleep complaints among elderly persons: An epidemiologic study of three communities. *Sleep*, 18(6), 425–432. <https://doi.org/10.1093/sleep/18.6.425>
- Gauffin, H., Tropp, H., & Odenrick, P. (1988). Effect of ankle disk training on postural control in patients with functional instability of the ankle joint. *International Journal of Sports Medicine*, 9(2), 141–144. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024996>
- Giboin, L.-S., Gruber, M., & Kramer, A. (2015). Task-specificity of balance training. *Human Movement Science*, 44, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.08.012>
- Granacher, U., Gollhofer, A., & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait & Posture*, 24(4), 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.12.007>
- Granacher, U., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2009). The Impact of Sensorimotor Training on Postural Control in Elderly Men. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60, 387–393.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., & Gruber, M. (2012). A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: Impact for testing and training. *Journal of Aging Research*, 2012, 708905. <https://doi.org/10.1155/2012/708905>
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L., & Gollhofer, A. (2011b). Can balance training promote balance and strength in prepubertal children? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1759–1766. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181da7886>
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Zahner, L., Gollhofer, A., & Kressig, R. W. (2011a). Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(5), 377–400. <https://doi.org/10.2165/11539920-000000000-00000>
- Gruber, M., Gruber, S. B. H., Taube, W., Schubert, M., Beck, S. C., & Gollhofer, A. (2007). Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development

- and neural activation in humans. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 274–282. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00049>
- Hertenstein, E., Gabryelska, A., Spiegelhalder, K., Nissen, C., Johann, A. F., Umarova, R., Riemann, D., Baglioni, C., & Feige, B. (2018). Reference Data for Polysomnography-Measured and Subjective Sleep in Healthy Adults. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 14(04), 523–532. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7036>
- Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Katz, E. S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D. N., O'Donnell, A. E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R. C., Setters, B., Vitiello, M. V., Ware, J. C., & Adams Hillard, P. J. (2015). National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: Methodology and results summary. *Sleep Health*, 1(1), 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010>
- Hytönen, M., Pyykkö, I., Aalto, H., & Starck, J. (1993). Postural control and age. *Acta Oto-Laryngologica*, 113(2), 119–122. <https://doi.org/10.3109/00016489309135778>
- Iber, C., Ancoli-Israel, S., Chesson, A. L., & Quan, S. F. (2007). *The AASM-manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications (Vol.1)*. Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine. <https://aasm.org/clinical-resources/scoring-manual/>
- Itani, O., Jike, M., Watanabe, N., & Kaneita, Y. (2017). Short sleep duration and health outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Sleep Medicine*, 32, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.08.006>
- Knief, U., & Forstmeier, W. (2021). Violating the normality assumption may be the lesser of two evils. *Behavior Research Methods*, 53(6), 2576–2590. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01587-5>
- Konjarski, M., Murray, G., Lee, V. V., & Jackson, M. L. (2018). Reciprocal relationships between daily sleep and mood: A systematic review of naturalistic prospective studies. *Sleep Medicine Reviews*, 42, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2018.05.005>
- Krause, A. J., Simon, E. B., Mander, B. A., Greer, S. M., Saletin, J. M., Goldstein-Piekarski, A. N., & Walker, M. P. (2017). The sleep-deprived human brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, 18(7), 404–418. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.55>
- Krueger, J. M., Frank, M., Wisor, J., & Roy, S. (2016). Sleep Function: Toward Elucidating an Enigma. *Sleep medicine reviews*, 28, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.08.005>
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., & Granacher, U. (2015a). Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: A systematic review

- and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(4), 557–576. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0284-5>
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A., & Granacher, U. (2015b). Effects of Balance Training on Balance Performance in Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(12), 1721–1738. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0375-y>
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (1996). Postural control in the older adult. *Clinics in Geriatric Medicine*, 12(4), 635–658.
- Marcinko, T. (2014). *CONSEQUENCES OF ASSUMPTION VIOLATIONS REGARDING ONE-WAY ANOVA*. <https://www.semanticscholar.org/paper/CONSEQUENCES-OF-ASSUMPTION-VIOLATIONS-REGARDING-Marcinko/d52100bc5ae3d82142bdf78e250c0e0f31bac701>
- Marino, M., Li, Y., Rueschman, M. N., Winkelmann, J. W., Ellenbogen, J. M., Solet, J. M., Dulin, H., Berkman, L. F., & Buxton, O. M. (2013). Measuring Sleep: Accuracy, Sensitivity, and Specificity of Wrist Actigraphy Compared to Polysomnography. *Sleep*, 36(11), 1747–1755. <https://doi.org/10.5665/sleep.3142>
- Miller, M. A., Kruisbrink, M., Wallace, J., Ji, C., & Cappuccio, F. P. (2018). Sleep duration and incidence of obesity in infants, children, and adolescents: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Sleep*, 41(4), zsy018. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsy018>
- Milnik, V. (2009). Anleitung zur Elektrodenplatzierung des internationalen 10–20-Systems. *Das Neurophysiologie-Labor*, 31(1), 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.neu-lab.2008.12.002>
- Mitterling, T., Högl, B., Schönwald, S. V., Hackner, H., Gabelia, D., Biermayr, M., & Frauscher, B. (2015). Sleep and Respiration in 100 Healthy Caucasian Sleepers—A Polysomnographic Study According to American Academy of Sleep Medicine Standards. *Sleep*, 38(6), 867–875. <https://doi.org/10.5665/sleep.4730>
- Mokhar, A., Tillenburg, N., Dirmaier, J., Kuhn, S., Härter, M., & Verthein, U. (2018). Potentially inappropriate use of benzodiazepines and z-drugs in the older population-analysis of associations between long-term use and patient-related factors. *PeerJ*, 6, e4614. <https://doi.org/10.7717/peerj.4614>
- Müller, O., Günther, M., Krauss, I., & Horstmann, T. (2004). [Physical characterization of the therapeutic device Posturomed as a measuring device—Presentation of a procedure to

- characterize balancing ability]. *Biomedizinische Technik. Biomedical Engineering*, 49(3), 56–60. <https://doi.org/10.1515/BMT.2004.011>
- Neubauer, D. N. (1999). Sleep problems in the elderly. *American Family Physician*, 59(9), 2551–2558, 2559–2560.
- Nguyen, M. H., & Kruse, A. (2012). A randomized controlled trial of Tai chi for balance, sleep quality and cognitive performance in elderly Vietnamese. *Clinical Interventions in Aging*, 7, 185–190. <https://doi.org/10.2147/CIA.S32600>
- Ohayon, M., Wickwire, E. M., Hirshkowitz, M., Albert, S. M., Avidan, A., Daly, F. J., Dauvilliers, Y., Ferri, R., Fung, C., Gozal, D., Hazen, N., Krystal, A., Lichstein, K., Mallampalli, M., Plazzi, G., Rawding, R., Scheer, F. A., Somers, V., & Vitiello, M. V. (2017). National Sleep Foundation’s sleep quality recommendations: First report. *Sleep Health*, 3(1), 6–19. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.006>
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51–66. <https://doi.org/10.1123/jsr.11.1.51>
- Perslev, M., Darkner, S., Kempfner, L., Nikolic, M., Jennum, P. J., & Igel, C. (2021). U-Sleep: Resilient high-frequency sleep staging. *Npj Digital Medicine*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00440-5>
- Prather, A. A., Janicki-Deverts, D., Hall, M. H., & Cohen, S. (2015). Behaviorally Assessed Sleep and Susceptibility to the Common Cold. *Sleep*, 38(9), 1353–1359. <https://doi.org/10.5665/sleep.4968>
- Rasch, B. (2021a). 1. Wie lange soll ich schlafen? In B. Rasch (Hrsg.), *Schlaf: Rasch erklärt—2021—200 Fragen und Antworten rund um den Schlaf* (S. 19–52). Hogrefe. <https://www.hogrefe.com/ch/shop/schlaf-im-zeitalter-der-digitalisierung-91576.html>
- Rasch, B. (2021b). 2. Was ist eigentlich Schlaf? In B. Rasch (Hrsg.), *Schlaf: Rasch erklärt—2021—200 Fragen und Antworten rund um den Schlaf* (S. 53–117). Hogrefe. <https://www.hogrefe.com/ch/shop/schlaf-im-zeitalter-der-digitalisierung-91576.html>
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About Sleep’s Role in Memory. *Physiological Reviews*, 93(2), 681–766. <https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2012>
- Rubenstein, L. Z., & Josephson, K. R. (2002). The epidemiology of falls and syncope. *Clinics in Geriatric Medicine*, 18(2), 141–158. [https://doi.org/10.1016/s0749-0690\(02\)00002-2](https://doi.org/10.1016/s0749-0690(02)00002-2)
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is it really robust? Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution

- assumption. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 6(4), 147–151. <https://doi.org/10.1027/1614-2241/a000016>
- Scullin, M. K., & Bliwise, D. L. (2015). Sleep, Cognition, and Normal Aging. *Perspectives on Psychological Science*. <https://doi.org/10.1177/1745691614556680>
- Sejbuk, M., Mirończuk-Chodakowska, I., & Witkowska, A. M. (2022). Sleep Quality: A Narrative Review on Nutrition, Stimulants, and Physical Activity as Important Factors. *Nutrients*, 14(9), 1912. <https://doi.org/10.3390/nu14091912>
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896–903.
- Solis-Navarro, L., Masot, O., Torres-Castro, R., Otto-Yáñez, M., Fernández-Jané, C., Solà-Madurell, M., Coda, A., Cyrus-Barker, E., Sitjà-Rabert, M., & Pérez, L. M. (2023). Effects on Sleep Quality of Physical Exercise Programs in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clocks & Sleep*, 5(2), 152–166. <https://doi.org/10.3390/clockssleep5020014>
- Štefan, L., Vrgoč, G., Rupčić, T., Sporiš, G., & Sekulić, D. (2018). Sleep Duration and Sleep Quality Are Associated with Physical Activity in Elderly People Living in Nursing Homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2512. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112512>
- Sun, M., Feng, W., Wang, F., Li, P., Li, Z., Li, M., Tse, G., Vlaanderen, J., Vermeulen, R., & Tse, L. A. (2018). Meta-analysis on shift work and risks of specific obesity types. *Obesity Reviews*, 19(1), 28–40. <https://doi.org/10.1111/obr.12621>
- Taube, W., Bracht, D., Besemer, C., & Gallhofer, A. (2010). *Einfluss eines Inline-Trainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit älterer Personen*. <https://www.germanjournalsportsmedicine.com/archive/archive-2010/heft-2/einfluss-eines-inline-trainings-auf-die-gleichgewichtsfahigkeit-aelterer-personen/>
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., & Gollhofer, A. (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 999–1005. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964996>
- Tribl, G. G., Schmeiser-Rieder, A., Rosenberger, A., Saletu, B., Bolitschek, J., Kapfhammer, G., Katschnig, H., Holzinger, B., Popovic, R., Kunze, M., & Zeitlhofer, J. (2002). Sleeping habits in the Austrian population. *Sleep Medicine*, 3(1), 21–28. [https://doi.org/10.1016/S1389-9457\(01\)00117-4](https://doi.org/10.1016/S1389-9457(01)00117-4)

- Verhagen, E., van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R., & van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: A prospective controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(6), 1385–1393. <https://doi.org/10.1177/0363546503262177>
- Wälchli, M., Ruffieux, J., Mouthon, A., Keller, M., & Taube, W. (2018). Is Young Age a Limiting Factor When Training Balance? Effects of Child-Oriented Balance Training in Children and Adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 176–184. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0061>
- Watling, J., Pawlik, B., Scott, K., Booth, S., & Short, M. A. (2017). Sleep Loss and Affective Functioning: More Than Just Mood. *Behavioral Sleep Medicine*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15402002.2016.1141770>
- Weineck, J. (2017). 26. Bedeutung von Erholung und Wiederherstellung nach sportlicher Belastung für die Optimierung des Trainingsprozesses. In J. Weineck (Hrsg.), *Optimales Training Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16. Aufl., S. 955–966). Spitta.
- Weltgesundheitsorganisation. (2010). *Weltgesundheitsorganisation—Globale Empfehlungen*. [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=590380016&sxsrf=AM9HkKISZiyy0tzaEz9xIEkGiE1b1Y4T8g:1702485438526&q=Weltgesundheitsorganisation.+Globale+Empfehlungen+zu+k%C3%B6rperlicher+Aktivit%C3%A4t+f%C3%BCr+die+Gesundheit;+Weltgesundheitsorganisation:+Genf,+Schweiz,+2010.&spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwj0tbG-7IyDAxV1xwIHHe3HDwAQBS-gAegQICRAC&biw=1536&bih=703&dpr=1.25](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=590380016&sxsrf=AM9HkKISZiyy0tzaEz9xIEkGiE1b1Y4T8g:1702485438526&q=Weltgesundheitsorganisation.+Globale+Empfehlungen+zu+k%C3%B6rperlicher+Aktivit%C3%A4t+f%C3%BCr+die+Gesundheit;+Weltgesundheitsorganisation:+Genf,+Schweiz,+2010.&spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwj0tbG-7IyDAxV1xwIHHe3HDwAQBS-gAegQICRAC&biw=1536&bih=703&dpr=1.25)