

# **Entwicklung eines evidenz-basierten Gleichgewichtstrainings auf Basis von systematischen Reviews**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Daniel Ammann**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät  
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Prof. Dr. Wolfgang Taube

Betreuer  
PhD Student Yves-Alain Kuhn

Pontresina, August 2018

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
1 Einleitung .....	4
1.1 Begriffserklärung .....	4
1.2 Sensomotorischer Prozess .....	10
1.3 Reflexe .....	13
1.4 Wirkungsweise der Gleichgewichtsorgane .....	14
1.5 Exemplarische Sportarten und deren Wirkungsweise auf das Gleichgewicht .....	18
1.6 Forschungslücke .....	19
1.7 Ziel und konkrete Fragestellung .....	20
2 Methode .....	22
2.1 Untersuchungsgruppe .....	22
2.2 Untersuchungsdesign .....	22
2.3 Untersuchungsinstrumente .....	24
2.4 Datenanalyse .....	24
3 Resultate .....	26
3.1 Trainingsempfehlungen .....	26
3.2 Aufbau und Inhalt der Übungslektionen .....	29
3.3 Effekte des Gleichgewichtstrainings .....	29
4 Diskussion .....	34
4.1 Trainingsempfehlungen .....	34
4.2 Aufbau und Inhalt der Übungslektionen .....	37
4.3 Effekte des Gleichgewichtstrainings .....	39
4.4 Ausblick .....	42
5 Schlussfolgerung .....	43
Literatur .....	45
Anhang A; Gleichgewicht-Mindmap .....	56
Anhang B; Variation im Gleichgewichtstraining .....	58
Anhang C; Messprotokoll .....	59
Anhang D; exemplarische Unterrichtsvorbereitung .....	61
Anhang E; Postenblätter .....	63
Dank .....	73

## **Zusammenfassung**

*Einleitung.* Trainer und Athleten, Physiotherapeuten und Patienten sind täglich mit Gleichgewichtstraining in Kontakt und doch sind die optimalen Trainingsformen wie z.B. Dauer, Intensität, Anzahl Übungen oder Trainingseinheiten und Auswirkungen noch weitgehend unerforscht. Ein Goldstandard im Gleichgewichtstraining konnte bis heute nicht erhoben werden. Die vorliegende Arbeit hat den Anspruch, eine Trainingsempfehlung für Gleichgewichtstrainings für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren anhand systematischer Reviews zusammenzustellen. Daraus entstand ein Übungskatalog, welcher die Grundlage einer Trainingsintervention darstellt.

*Methode.* Getestet wurden zwei Probandengruppen ( $n = 40$ ,  $w = 17$ ), junge Erwachsene und Senioren, randomisiert in Interventions- und Kontrollgruppe. Die Probanden trainierten während zwei Monaten zweimal wöchentlich. Eine Trainingseinheit umfasste 10min Aufwärmen, 20 bis 30min Gleichgewichtsübungen und 5min Ausklang. Um die Effekte zu überprüfen, absolvierten die Probanden einen pre- und post-Test mit jeweils vier verschiedenen Niveaus auf dem Posturomed und auf dem Gesundheitskreisel, einer Kraftmessplatte. Um die Tests vergleichbar zu machen, starteten alle Probanden auf dem einfachsten Niveau.

*Resultate.* Nach zwei Monaten Gleichgewichtstraining konnten keine signifikanten Effekte im Gleichgewicht erzielt werden. Weder für gesunde, junge Erwachsene noch für gesunde Senioren wurden eindeutige Tendenzen sichtbar.

*Diskussion.* Da Probanden mit gutem Gleichgewicht keine positiven Veränderungen zeigten, kann vermutet werden, dass diese unterfordert waren. Die angewandten Gleichgewichtstests wurden bereits in unzähligen Studien verwendet und dennoch muss hier ihre Validität hinterfragt werden. In zukünftigen Gleichgewichtsstudien sollten die Gleichgewichtstests genauer auf das Interventionsprogramm angepasst und eine längere Interventionsdauer gewählt werden.

*Schlussfolgerung.* Die Empfehlungen für Gleichgewichtstraining umfassen Übungen von 20 bis 40s Dauer, zwei Wiederholungen und drei bis acht Gleichgewichtsübungen. Ein Gleichgewichtstraining dauert 30min inklusive Aufwärmen und Auslaufen, pro Woche jedoch mindestens 120min. Das Gleichgewicht sollte regelmässig und kontinuierlich trainiert werden. Um optimale Fortschritte zu erzielen sind 50 h Training notwendig. Zudem sollte das Training herausfordernd, abwechslungsreich, bei einer mittleren Intensität und individuell fördernd sein.

# 1 Einleitung

Gleichgewichtstraining (GGT) ist nicht mehr aus den Trainings von Athleten wegzudenken und hat sich schon längst in der Praxis etabliert (Kümmel, Kramer, Giboin & Gruber, 2016). Sei es bei Athleten, welche ihre Leistung der Explosiv- (Gruber & Gollhofer, 2004; Gruber et al., 2007) oder Sprungkraft (Taube et al., 2007b) verbessern möchten, um Verletzungen vorzubeugen (Hubscher et al., 2010; Myklebust et al., 2007; Sherrington et al., 2008; Verhagen et al., 2004; Wedderkopp, Kaltoft, Holm & Froberg, 2003), in Rehabilitationsprogrammen (Freeman, Dean & Hanham, 1965; Henriksson, Ledin & Good, 2001), bei älteren Menschen als Sturzprophylaxe (Lacroix et al., 2016) oder zur Reduktion von Nackenschmerzen (Beinert & Taube, 2013). Die Vorzüge von GGT scheinen offensichtlich zu sein und doch sind die optimalen Trainingsformen noch unerforscht. Ein Goldstandard im GGT konnte bis heute nicht erhoben werden (Brachman et al., 2017).

## 1.1 Begriffserklärung

**1.1.1 Gleichgewicht.** Das Gleichgewicht (GG) begleitet die Menschen ein Leben lang. Es spielt eine viel wichtigere Rolle im Leben als lange angenommen wurde (Mülly, 1933). GG ist eine der nach Hegner (2012) benannten fünf koordinativen Fähigkeiten. Rhythmus, Reaktion, Orientierung und Differenzierung sind die weiteren dazugehörigen koordinativen Fähigkeiten.

Rogers, Page und Takeshima (2013) beschreiben die Fähigkeit, in einer aufrechten Position zu verbleiben, als GG. Andere Autoren drücken das GG als ein faszinierendes Kräftespiel zwischen inneren und äusseren Kräften aus, welche auf den Körper wirken (Hirtz, Hotz & Ludwig, 2005).

Hirtz et al. (2005) unterteilen das GG in vier Kategorien:

- Stand-GG
- Balancier-GG
- Dreh-GG
- Flug-GG

Unter dem Stand-GG verstehen sie die Erhaltung oder die Wiederherstellung des Körper-GGs ohne Ortsveränderung, z.B. Aufstehen, Hinsetzen, beidbeiniger Stand, einbeiniger Stand oder aber auch der Stand auf instabilen Unterlagen.

Unter dem Balancier-GG beschreiben sie den Erhalt oder die Wiederherstellung des Körper-GGs mit Ortsveränderungen, z.B. Gehen, Stolpern, Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen oder Schwimmen.

Die Autoren definieren Drehungen im Stand oder Liegen, um die verschiedenen Körperachsen wie z.B. beim Geräte- und Kunstturnen, Trampolinspringen, Diskuswerfen oder Tanzen als Dreh-GG.

Das Flug-GG definiert sich durch die GG-Fähigkeit eines Körpers in der Luft. Dies beinhaltet den Erhalt oder die Wiederherstellung des Körper-GGs nach Sprüngen wie z.B. Hochsprung, Weitsprung oder Niedersprüngen, aber auch nach Skispringen oder Sprüngen über Hindernisse in Wintersportarten.

Gageur (2014) unterteilt das GG nach dem kinetischen Zustand des Körpers in drei Kategorien:

- Statisches GG
- Dynamisches GG
- Objekt-GG

Unter statischem GG, auch Stand-GG genannt, versteht Gageur (2014) den Körper in relativer Ruhestellung oder sehr langsamen Bewegungen im GG zu halten, z.B. auf einem Bein stehen oder laufen. In der Literatur wird vermehrt der Begriff „statisches GG“ verwendet, weshalb auch in der vorliegenden Arbeit dieser Begriff verwendet wird.

Beim dynamischen GG wird der Körper über Bewegungen im GG gehalten. Im Unterschied zum statischen GG definiert das dynamische GG Bewegungsabläufe wie z.B. beim Fahrradfahren oder bei Sprüngen.

Das Objekt-GG bedeutet, einen fremden Körper oder einen Gegenstand im GG zu halten wie z.B. beim Balancieren von Gegenständen.

Granacher, Gollhofer, Hortobagyi, Kressig und Muehlbauer (2013) unterscheiden in ihrer Studie neben dem statisch kontinuierlichen GG und dem dynamisch kontinuierlichen GG das proaktive und reaktive GG. Unter reaktivem GG verstehen sie die Fähigkeit, das GG nach einer destabilisierenden Situation wiederherzustellen, z.B. beim Ausrutschen oder beim Stolpern. Beim proaktiven GG werden Muskeln vor einer destabilisierenden Situation vorkontrahiert, um während der Bewegungsausführung zusätzlich zu stabilisieren wie z.B. beim Aufheben eines Gegenstandes oder beim Richtungswechsel im Gehen.

**1.1.2 Gleichgewichtsfähigkeit.** Meinel und Schnabel (2007) verstehen unter Gleichgewichtsfähigkeit, den Körper im Gleichgewichtszustand zu halten oder diesen Zustand nach einer

Körperverschiebung wiederherzustellen bzw. beizubehalten. Röthig et al. (2003) beschreiben den eigenen oder den fremden Körper durch Ausgleichsbewegungen im GG zu belassen als motorische GGs-Fähigkeit. Das menschliche GG bezeichnen Rogers et al. (2013) als posturale Kontrolle. Ist der Körperschwerpunkt über der Unterstützungsfläche der Füße (siehe auch Abbildung 2, S. 11), sprechen die Autoren Rogers et al. (2013) von posturaler Stabilität oder posturaler Kontrolle, eine spezifischere Beschreibung der menschlichen GGs-Fähigkeit. Die Unterstützungsfläche des menschlichen Körpers wird durch die Fläche beider Fussabdrücke bestimmt (siehe Kapitel 1.2 Sensomotorischer Prozess). Abschliessend kann die GGs-Fähigkeit als eine Ausgleichsbewegung angesehen werden, um den Körper im GGs-Zustand zu halten oder nach dem Un-GG wieder in diesen GGs-Zustand zu kommen.

**1.1.3 Gleichgewichtstraining.** Taube (2013) definiert GGT über die Fähigkeit, das GG durch gezieltes Training zu verbessern. GGT beinhaltet alle Vorgänge, welche auf die Bewegungsaufgabe abzielen. Demnach eignet sich der Begriff GGT bestens, da dieser keine körperinternen Vorgänge miteinbezieht. Nugent (2013) beschreibt GGT weiter als Therapieform für Personen, welche Schwierigkeiten mit der Kontrolle des GGs haben wie z.B. bei der Aufrechterhaltung des Standes, beim Gehen oder beim Durchführen von Aktivitäten.

Für GGT werden in der Literatur verschiedenste Begriffe verwendet. Als Folge werden die wichtigsten Synonyme dargestellt: Erstmals erwähnten Freeman et al. (1965) den Begriff "Koordinationsübungen". Der am meisten in der Literatur verwendete Begriff ist "Balance Training" (Bernier & Perrin, 1998; Heitkamp, Horstmann, Mayer, Weller & Dickhuth, 2001), daneben kommen auch Begriffe wie "neuromuskuläres Training" (Paterno, Myer, Ford & Hewett, 2004), "instabiles Training" oder "perturbations Training" vor (Kümmel et al., 2016). Taube et al. (2007b) verwendeten den Begriff "Balance Training" gleichbedeutend mit sensomotorischem Training. Gelegentlich verwenden Autoren Begriffe wie "sensorisches Training" (Banaschewski, Besmens, Zieger & Rothenberger, 2001; Gruber & Gollhofer, 2004) oder "propriozeptives Training" (Chong, Ambrose, Carzoli, Hardison & Jacobson, 2001; Wulker & Rudert, 1999). Lephart, Riemann und Fu (2000) verstehen Propriozeption als Aufnahme von Reizen wie z.B. Veränderung der Muskellänge, der Sehnendehnung, der Gelenkstellen und des GGs-Zustandes. Weiter umfasst der Begriff "Propriozeption" die Verschaltung der neuronalen Signale zu den afferenten Nervenbahnen im zentralen Nervensystem. Lephart et al. (2000) beschreiben das sensomotorische System mit der neurosensorischen Reizaufnahme, die zentralnervösen Verarbeitungsprozesse und die damit verbundenen neuromuskulä-

ren Antworten. Also alle Prozesse zwischen der Informationsaufnahme der GGs-Organen, der Verarbeitung im Gehirn und die daraus resultierende Muskelreaktion.

**Effekte.** Granacher, Gollhofer und Strass (2006) bestätigten die Trainierbarkeit von GG in jedem Alter. Zahlreiche Autoren konnten aufzeigen, dass GGT verschiedene Effekte hat: Vermindertes Sturzrisiko (Kannus, Sievanen, Palvanen, Jarvinen & Parkkari, 2005; Lacroix et al., 2016; Robertson, Campbell, Gardner & Devlin, 2002), Verletzungsprävention (Hubscher et al., 2010; Myklebust et al., 2007; Olsen, Myklebust, Engebretsen, Holme & Bahr, 2005; Sherrington et al., 2008; Verhagen et al., 2004; Wedderkopp et al., 2003), Förderung des Rehabilitationsprozesses (Freeman et al., 1965; Henriksson et al., 2001), Reduktion von Nackenschmerzen (Beinert & Taube, 2013) und Leistungssteigerung bei Athleten (Bruhn, Kullmann & Gollhofer, 2004; Granacher, Gruber, Strass & Gollhofer, 2007; Gruber & Gollhofer, 2004; Gruber et al., 2007; Taube et al., 2007b).

**Vermindertes Sturzrisiko.** Eine Kombination von GGT und Krafttraining führt zu einem verminderten Sturzrisiko bei älteren Personen (Kannus et al., 2005; Lacroix et al., 2016; Robertson et al., 2002). Darin besteht das Ziel, den Verlust von Kraft und Muskelmasse zu verhindern, sowie Defizite in statischem und dynamischem GG zu vermeiden (Lacroix et al., 2016). Das Training von Explosivkraft, unerwartete Störreize oder Mehrfachfähigkeitsbedingungen (Dualtask) kann kritischen Situationen wie z.B. Ausrutschen, Stolpern oder das gleichzeitige Ausführen von mehreren Aufgaben entgegenwirken (Granacher, Muehlbauer, Zahner, Gollhofer & Kressig, 2011). Solche Trainings stellen gemäss Granacher et al. (2011) Inhalte des GGTs dar.

**Verletzungsprävention.** Diverse Autoren konnten bei GGTs eine Verletzungsprophylaxe nachweisen (Hubscher et al., 2010; Myklebust et al., 2007; Olsen et al., 2005; Sherrington et al., 2008; Verhagen et al., 2004; Wedderkopp et al., 2003).

Hubscher et al. (2010) erstellten ein systematisches Review. Anhand von sieben methodisch hochwertigen Studien konnten sie eine Reduktion von Verletzungen bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen durch systematisches GGT nachweisen.

Sherrington et al. (2008) widmeten sich der Untersuchung von älteren Probanden. In ihrem systematischen Review und der Metaanalyse erkannten sie eine Reduktion der Verletzungsrate von 17 % durch GGT.

Olsen et al. (2005) und Myklebust et al. (2007) untersuchten norwegische Handballspielerinnen und -spieler. Olsen et al. (2005) begleiteten sie während acht Monaten und reduzierten Unfälle durch ein systematisches Aufwärmen. Das Aufwärmen beinhaltete vier Blöcke: Jog-

ging, Sprünge, GGT und Krafttraining. Dadurch verbesserten die Spielerinnen und Spieler die neuromuskuläre Kontrolle, das GG und die Muskelkraft.

Auch Wedderkopp et al. (2003) analysierten junge Handballspielerinnen. Sie stellten zwei Vergleichsgruppen gegenüber. Beide Gruppen absolvierten ein Krafttraining, wobei die eine Gruppe zusätzlich GGs-Übungen auf einem Balancebrett ausführten. Die beiden Gruppen erzielten signifikante Unterschiede. Wedderkopp et al. (2003) stellten fest, dass Krafttraining kombiniert mit GGT auf dem Balancebrett die Verletzungen minimieren kann. Vor allem mittlere bis schwere Verletzungen konnten reduziert werden. Bereits Jahre zuvor führten Wedderkopp, Kaltoft, Lundgaard, Rosendahl und Froberg (1999) Untersuchungen zur Verminderung von Verletzungsraten durch. Darin liessen sich die Verletzungsraten um beinahe das Sechsfache reduzieren.

Verhagen et al. (2004) untersuchten Volleyballspielerinnen und -spieler. Während einer saisonlangen Intervention reduzierten sie ebenfalls die Unfallrate. Im Gegensatz zu Olsen et al. (2005), Myklebust et al. (2007) und Wedderkopp et al. (2003), in deren Studien sich die Verletzungsprophylaxe auf alle Probanden ausdehnte, verbesserten sich jedoch nur Spielerinnen und Spieler, welche bereits Verletzungen am Fussgelenk hatten. Nach Verletzungen tritt ein sensomotorischer Funktionsverlust auf, welchem mit GGT zu entgegnen ist. Dabei konnte die Verletzungsrate des Sprunggelenkkomplexes durch das GGT beinahe halbiert werden. Keine Verbesserungen traten bei Fällen mit Knieverletzungen auf. Deshalb empfehlen die Autoren vor allem Spielerinnen und Spieler mit Verletzungshintergründen zusätzliche GGs-Übungen ins Training zu integrieren.

Ähnliche Entdeckungen machten Söderman, Werner, Pietilä, Engström und Alfredson (2000) bei Untersuchungen mit Fussballspielerinnen. Sie erzielten eine Reduktion der Verletzungsraten durch GGT auf Wackelbrettern bei Spielerinnen mit Verletzungsvorgeschichten.

Um Fussgelenkverletzungen vorzubeugen, untersuchten Tropp, Askling und Gillquist (1985) das GGT auf Kippbrettern. Sie testeten verletzte Fussballspieler und stellten positive Effekte fest, worauf sie empfahlen, das GGT in den Rehabilitationsprozess einzugliedern.

Durch Fixation am Sprunggelenk mit Hilfe eines Skischuhs beeinflussten Gruber, Bruhn und Gollhofer (2006) während dem GGT die neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks. Während dem GGT mit Fixationen, verbesserten die Probanden die Gelenksteifigkeit langsamer Stimuli. Führten die Probanden das GGT barfuss aus, verbesserte sich die Gelenksteifigkeit schneller Stimuli. Sie folgerten daraus, dass verschiedene adaptive Systeme verantwortlich für schnelle oder langsame Reflexe sind. Deshalb postulieren sie positive Effekte im Präventi-



onsbereich sowie auch in Rehabilitationsprozessen bei Fixationen während dem GGT im Sprunggelenk.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass GGT die Verletzungsprävention fördert. Davon profitieren Probanden mit Verletzungsgeschichten besonders.

*Rehabilitationsprozess fördern.* Freeman et al. (1965) und Henriksson et al. (2001) zeigten auf, dass GGT den Rehabilitationsprozess fördert. Dazu verordneten Freeman et al. (1965) GGT während drei Wochen an Patienten mit Fussverletzungen. Sie fanden heraus, dass Interventionen von GGT nach Verletzungen am Fussgelenk Defizite im GG reduzieren und dem Fuss eine erhöhte Stabilität geben. Henriksson et al. (2001) führten GGT und Beweglichkeits-training an Patienten mit Knieverletzungen durch. Nach einer Interventionsdauer von durchschnittlich 36 Monaten hatten die Patienten, im Unterschied zu Patienten mit normaler Behandlung, signifikante Fortschritte im Rehabilitationsprozess erzielt.

*Reduktion von Nackenschmerzen.* Beinert und Taube (2013) fanden heraus, dass GGT Nackenschmerzen vermindern kann. Sie untersuchten 34 Probanden und teilten diese randomisiert in eine GGTs-Gruppe und eine aktive Kontrollgruppe ein. Die GGTs-Gruppe reduzierten Körperschwankungen und erhöhten dadurch die posturale Stabilität. Zudem verbesserte die GGTs-Gruppe die Genauigkeit der Gelenkpositionen am Hals, während die Kontrollgruppe keine Veränderungen zeigte. Die GGTs-Gruppe konnte den Kopf besser in vorgegebene Positionen bewegen. Durch die Mobilisierung verminderte sie die Schmerzempfindlichkeit der Nackenwirbelsäule, was eine Reduktion der Nackenschmerzen zur Folge hatte.

*Leistungssteigerung bei Athleten.* Nugent (2013) beschreibt die Leistungssteigerung bei Athleten durch GGT wie folgt: GGT verbessert die Muskelansteuerung der Athleten und fördert eine effizientere Interpretation der Sinne. Die verschiedenen GGs-Sinne geben Informationen ans Gehirn weiter, wo diese bewusster wahrgenommen und verarbeitet werden. Athleten nutzen das GGT um ihre koordinativen Fähigkeiten zu verbessern (Nugent, 2013). Gruber et al. (2007) sowie Gruber und Gollhofer (2004) konnten nachweisen, dass GGT eine Leistungssteigerung der Explosivkraft zur Folge hat. Gruber et al. (2007) teilten die Probanden in drei Gruppen auf: in eine Krafttrainingsgruppe, in eine GGTs-Gruppe und in eine Kontrollgruppe. Die Krafttrainingsgruppe sowie die GGTs-Gruppe erzielten Fortschritte bei einer maximalen Muskelkontraktion, wobei die Krafttrainingsgruppe höhere Fortschritte erzielte. GGT ersetzt somit nicht das Krafttraining, kann jedoch für neue Reize im Kraftsport sorgen. Demnach kann GGT ergänzend zum Krafttraining eingesetzt werden. Gruber und Gollhofer (2004) konnten in einer vorherigen Studie bereits beweisen, dass GGT die maximale Muskelkontraktion verbessert. Dabei stellten sie fest, dass die positive Veränderung in den ersten 100ms

geschieht, was die Autoren einer schnelleren neuronalen Ansteuerung der Muskeln zuschreiben. GGT ruft keine Veränderungen in den Muskeln hervor sondern in der Muskelansteuerung. Durch die verbesserte Muskelaktivierung können Muskeln schneller und effizienter eingesetzt werden. Granacher et al. (2007) kamen auf die gleichen Erkenntnisse. Sie konnten ebenfalls eine Steigerung der Maximal- und Explosivkraft durch GGT nachweisen. Im Gegensatz zu Gruber und Gollhofer (2004) untersuchten sie jedoch Probanden im Alter zwischen 60 und 80 Jahren mit einer 13-wöchigen Intervention. Der altersbedingten Kraftverringerng der Probanden konnte entgegengewirkt werden, indem sich die neuronale Ansteuerung der Muskulatur verbesserte. Damit decken sich die Erkenntnisse über die effizientere Muskelansteuerung mit früheren Forschungsergebnissen (Bruhn et al., 2004; Gruber & Gollhofer, 2004). Auch Bruhn et al. (2004) stellten eine erhöhte neuromuskuläre Aktivität fest. Probanden führten GGT während vier Wochen durch. Sie zeigten unmittelbar nach dem Bodenkontakt von Drop-jumps erhöhte neuromuskuläre Aktivitäten auf. GGT verändert demnach den afferenten Input auf das zentrale Nervensystem (Bruhn et al., 2004), was Leistungssteigerungen hervorrufen kann. Im Gegensatz zu anderen Studien (Granacher et al., 2007; Gruber & Gollhofer, 2004; Gruber et al., 2007) konnten Taube et al. (2007b) nach dem GGT keine Steigerung der Maximal- und Explosivkraft nachweisen. Allerdings erhöhte sich die Sprungleistung der Probanden. Eingeteilt wurden die jungen, trainierten Probanden in eine Krafttrainingsgruppe und in eine GGTs-Gruppe. Bei den Tests vor und nach der Intervention stellten Taube et al. (2007b) keine Veränderungen fest, jedoch nahm die spinale Erregbarkeit bei beiden Gruppen während der Ausübung der GGs-Aufgaben ab. Diese verminderte Erregbarkeit erklären sich Taube et al. (2007b) dadurch, da sich bei der Krafttrainingsgruppe die Leistung der Motoneuronen steigerte, wobei die GGTs-Gruppe die Bewegungskontrolle verbesserte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass GGT keine direkten Anpassungen im Muskel hervorruft, jedoch die neuronale Ansteuerung der Muskulatur verbessert. Dadurch lassen sich im Zusammenhang mit Krafttraining Leistungssteigerungen der Explosivkraft und im Sprungbereich nachweisen.

## **1.2 Sensomotorischer Prozess**

Die verschiedenen GGs-Organen arbeiten zusammen in einem interagierenden, sensomotorischen Prozess (Horak, 2006). Dieser kann in einem Modell (Abbildung 1) in wichtige Ressourcen aufgeteilt werden. Shumway-Cook und Woollacott (2007) änderten das Modell von Horak (2006) leicht ab, betonten jedoch ebenfalls die komplexe Verschaltung der Rezeptoren

mit dem zentralen Nervensystem. In Folge werden die Zusammenhänge und die Inhalte der Ressourcen nach dem Modell von Horak (2006) erläutert.

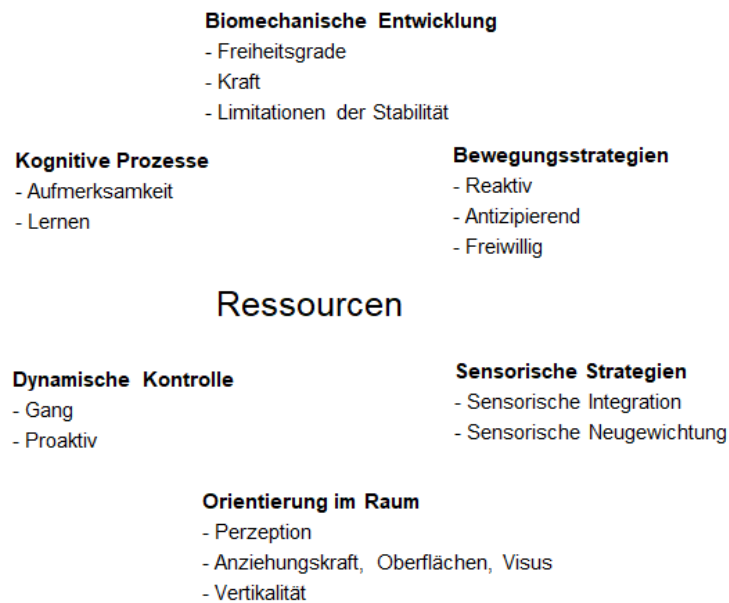


Abbildung 1. Wichtige Ressourcen, welche für das Gleichgewicht und die Orientierung benötigt werden und was darunter verstanden werden kann. Graphisch von Daniel Ammann leicht abgeändertes Model (Horak, 2006, S. ii8).

**1.2.1 Biomechanische Entwicklung.** Für Horak (2006) sind für ein gutes GG die Unterstützungsfläche und deren Grösse und Qualität das Wichtigste und Entscheidendste. Bewegungen wirken sich unmittelbar auf die Unterstützungsfläche aus, was Auswirkungen auf das GG hat. Trifft der Körperschwerpunkt nicht auf die Unterstützungsfläche, befindet sich der Körper im Ungleichgewicht (Abbildung 2). Jegliche Limitierung von Grösse, Muskelkraft, Umfang, Schmerzen, Kontrolle der Füße, Gelenkradius oder Informationsverarbeitung beeinflusst unmittelbar das GG (Horak, 2006).



Abbildung 2. Limitation des Gleichgewichts (GG) durch die Unterstützungsfläche (Zylinderform). Körperschwerpunkt (weisser Punkt) befindet sich innerhalb des Zylinders, wenn sich der Körper im GG befindet. Der Körperschwerpunkt trifft auf die Unterstützungsfläche der Füße (weisser Pfeil) (Horak, 2006, S. ii9).

**1.2.2 Bewegungsstrategien.** Um den Körper vom Ungleichgewicht wieder ins GG zu bringen, gibt es drei Hauptstrategien: Fussgelenkkorrektur, Hüftgelenkkorrektur oder einen Ausfallschritt (Horak, 1987; McIlroy & Maki, 1996). Die Fussgelenkkorrektur wird auf festen Unterlagen angewendet. Dabei funktioniert der Körper wie ein umgekehrtes Pendel, der auf kleine Schwankungen reagieren muss. Muss der Körper schnell ins GG gebracht werden, wenn kleine Korrekturen mit dem Fussgelenk nicht mehr genügen, korrigiert der Körper mit dem Hüftgelenk. Durch diese Ausgleichskorrektur kann der Körperschwerpunkt schnell in die Zylinderform der Unterstützungsfläche gebracht werden (Abbildung 2). Auf instabilen Unterlagen wird vermehrt diese Strategie angewendet. Mit einem Ausfallschritt wendet der Körper eine dritte Strategie an um den Körper im GG zu halten. Im Gehen gerät der Körper stetig zwischen jedem Schritt vom Ungleichgewicht ins GG. Ältere Personen oder Personen mit Sturzängsten machen kleine Schritte oder Hüftkorrekturen und verwenden weniger Fussgelenkkorrekturen, um sich im GG zu halten (Horak, 2006).

**1.2.3 Sensorische Strategien.** Nach Horak (2006) interpretiert der Mensch die Umgebung dank sensorischen Informationen. Somatosensorische, visuelle und vestibuläre Informationsaufnahmen scannen die Umgebung und reagieren stetig darauf. Somatosensorik wird in Propriozeption (Kraft-, Stellungs- und Bewegungssinn), Nozizeption (Schmerzempfindungen) und taktile Informationsaufnahme aufgeteilt (Silbernagl, 2012). In einer gut ausgeleuchteten, stabilen Umgebung benutzt der gesunde menschliche Körper zu 70 % die somatosensorische, zu 20 % die vestibuläre und zu 10 % die visuelle Informationsquelle. Die Erkenntnisse erlangten die Autoren durch Untersuchungen mit gesunden Probanden einerseits und Probanden mit einem beidseitigen vestibulären Gleichgewichtsverlust andererseits. Unter sechs verschiedenen sensorischen Konditionen wurden Tests durchgeführt. Dabei stellten sie vermehrt *anterior-posteriore*-Schwankungen fest. Auf instabilen Unterlagen verringert sich der somatosensorische Anteil und die visuellen und vestibulären Informationsquellen werden stärker genutzt (Peterka, 2002).

**1.2.4 Orientierung im Raum.** Horak (2006) erforschte die Fähigkeit der Orientierung im Raum. Diese geschieht durch die Gravitation, die Unterstützungsfläche, die visuellen Informationen und die internen Referenzen. Das gesunde Nervensystem passt sich je nach Kontext und Aufgabe laufend der Umwelt an. Die Unterstützungsfläche ermöglicht eine Orientierung. Kippt diese, geschieht die Orientierung anhand der Gravitation. Hat eine Person eine ungenaue, intern vertikale Ausrichtung oder befindet sie sich in einer geneigten Position, führt dies

zu einer automatischen Neuausrichtung des Körpers. Stimmt die Ausrichtung nicht mit der Realität überein, kann diese zu einem instabileren GG führen (Horak, 2006).

**1.2.5 Dynamische Kontrolle.** Horak (2006) beschreibt, dass die dynamische Kontrolle während dem menschlichen Gang sehr essenziell ist. Die Gewichtsverlagerung verlangt eine komplexe motorische Kontrolle. Der Körperschwerpunkt befindet sich während dem Gang ausserhalb der Unterstützungsfläche der Füße (Winter, MacKinnon, Ruder & Wieman, 1993). Beim Aufsetzen der Füße schwingt der Körperschwerpunkt wieder unter die Unterstützungsfläche und stabilisiert nach vorne. Seitwärts kann der Körper durch die Rumpfspannung und der seitlichen Platzierung der Füße stabilisiert werden (Bauby & Kuo, 2000).

**1.2.6 Kognitive Prozesse.** Teasdale und Simoneau (2001) postulieren die Beanspruchung von kognitiven Ressourcen während dem GG. Nach Horak (2006) erhöht bereits der aufrechte Stand kognitive Prozesse. Wird die Schwierigkeit beim GGT maximiert, steigern sich die kognitiven Prozesse. Der aufrechte Stand sowie Denkaufgaben nutzen die gleichen kognitiven Ressourcen (Horak, 2006). Dualtask-Aufgaben während dem GGT können daher die GGs-Fähigkeiten einschränken (Camicioli, Howieson, Lehman & Kaye, 1997).

### **1.3 Reflexe**

Der Reflex nimmt im Zusammenhang mit dem GG eine massgebende Rolle ein. Latash (2008) definiert den Reflex als unwillkürliche Reaktion auf einen externen Reiz. Ist der menschliche Körper im Begriff das GG zu verlieren, kann der Reflex vor Verletzungen schützen. Diverse Autoren (Gruber et al., 2007; Keller, Pfusterschmied, Buchecker, Müller & Taube, 2012; Taube et al., 2007; Taube et al., 2007b; Trimble & Kocaja, 2001) konnten durch GGT eine spinale Reflexanpassung ausfindig machen. Die Stabilisierung des GGs regelt nicht nur Willkürmotorik sondern auch Muskeleigenreflexe. Die Abstimmung von Agonist und Antagonist steuert das Reflexverhalten (Berliner, 2013). Über den Dehnreflex kommt es zur Hemmung des Antagonisten, während der Agonist aktiv ist. Um die Bewegungen fein zu dosieren, behält der Antagonist einen geringen Tonus. Die abwechselnde, eigenreflektorische Aktivierung von Antagonist und Agonist ist die Voraussetzung für eine harmonische Bewegungsabfolge (Berliner, 2013). Der Dehnreflex verläuft auf der Ebene des Rückenmarks (Pearson & Gordon, 2000). Die reflektorischen Anteile des Dehnreflexes wiesen Zuur et al. (2010) nach, indem sie Probanden auf Kraftmessplatten stellten. Jeweils zwischen den Sprüngen der Probanden wurde die Kraftmessplatte angehoben, abgesenkt oder blieb auf gleicher

Höhe. Die Probanden wussten jedoch nicht, ob es zu einer Höhenveränderung kam. Die Dehnung der Muskeln und die damit verbundenen Reize der Muskelspindeln löste eine neuromuskuläre Antwort aus, welche Zuur et al. (2010) belegen konnten. Keck et al. (1998) postulierten einen vernachlässigbaren, kortikalen Einfluss bei Störungen des GGs auf eine automatische Reaktion der Beinmuskulatur. Daher lässt sich mutmassen, dass Reflexe die Ansteuerung der Muskulatur bei Störung des GGs übernehmen. Abschliessend kann auf Basis von bestehender Forschungsliteratur behauptet werden, dass Reflexe einen hohen Anteil beim Aufrechterhalten des GGs haben.

## **1.4 Wirkungsweise der Gleichgewichtsorgane**

Um den Körper im GG zu halten, verarbeitet dieser kinästhetische, taktile, optische und vestibuläre Reize (Schnabel, 1973). Jedes GGs-Organ hat eine spezielle Funktion. Sie nehmen die Informationen auf und leiten diese weiter an den Motorkortex. Dort werden alle Informationen zusammengeführt und abgestimmt.

**1.4.1 Propriozeption.** Erstmals verwies McCloskey (1988) auf das Empfinden der statischen Position oder das Empfinden der Geschwindigkeit von Bewegungen des Körpers. Dies könne bewusst oder unbewusst geschehen. Ayres (1972) unterschied diese Empfindungen in Kinästhesie und Propriozeption. Als Kinästhesie beschrieb Ayres (1972) die bewusste Empfindung von Gelenkpositionen und -bewegungen. Propriozeption erklärte sie als unbewusste Empfindung ausgehend von Sehnen und Knochen. Die Literatur fasst die Begriffe Kinästhesie und Propriozeption zusammen und verwendet stellvertretend den Begriff Propriozeption (Fisher, 1991; Fredericks, 1996). Diverse weitere Autoren verwendeten für Propriozeption auch den Begriff Tiefensensibilität (Schmidt, 1985).

Zur Propriozeption zählt der Kraftsinn, der Stellungssinn und der Bewegungssinn (Silbernagl, 2012). Die Propriozeption hat drei verschiedene Aufgaben: Modulieren des Erregungszustandes, Bewegungskontrolle und Aufnahme von Empfindungen (Smith-Roley, Blanche & Schaaf, 2004). Die Propriozeption beinhaltet Muskelspindeln, Sehnensensoren (Golgi-Sehnen-Organ) und Gelenksensoren (Silbernagl, 2012). Fitzpatrick und McCloskey (1994) verwiesen auf die Wichtigkeit der Propriozeption. In einer Studie untersuchten sie die Auswirkungen auf die aufrechte Haltung ohne visuelle oder vestibuläre Informationen. Sie konnten nachweisen, dass die aufrechte Haltung immer noch möglich ist, organisiert durch das somatosensorische System. Damit konnten Fitzpatrick und McCloskey (1994) aufzeigen, dass die Propriozeption eine wesentliche Funktion zur Aufrechterhaltung des GGs ausübt.

**1.4.2 Taktile Informationsaufnahme.** Die taktile Informationsaufnahme wird Oberflächen-sensibilität oder auch Tastsinn genannt. Taktile Informationsaufnahme beinhaltet die Form-, Gestalt- und Raumwahrnehmung (Silbernagl, 2012). Über die Haut werden Schmerz, Temperatur und Berührungen aufgenommen (Ayres, 2013).

Diverse Autoren konnten die Wichtigkeit der taktilen Reize für das GG belegen (Kavounoudias, Roll & Roll, 2001; Meyer, Oddsson & De Luca, 2004). Die Autoren erforschten den Einfluss der Fusssohle und Fussknöchel auf die Regulierung der Haltungsarbeit beim GG. Auf instabilen Unterlagen scheinen die taktilen Informationen besonders wichtig zu sein (Meyer et al., 2004). In einer weiteren Untersuchung stellten Meyer et al. (2004) jedoch einen moderaten Einfluss der Fusssohle auf das GG fest. Tests auf einem Bein oder mit geschlossenen Augen schliessen auf eine vermehrte taktile Informationsaufnahme.

Lackner, Rabin und DiZio (2001) forschten ebenso über die taktile Informationsaufnahme und testeten dazu Probanden im Tandemstand. Die Probanden durften sich auf eine Unterstützung mit weniger als einem Newton abstützen. Mittels Zeigefinger haben sie den Druck auf eine hüfthohe Messanlage übertragen. Durch die Unterstützung mittels Zeigefinger konnten Schwingungen auf einer Kraftmessplatte reduziert werden, was einer Verbesserung des GGs gleichzusetzten ist. Eine geringe Anzahl von Rezeptoren auf der Fingerspitze stabilisieren bereits das GG und reduzieren Schwingungen. Damit erläuterten die Autoren die Wirkungsweise der Rezeptoren und der taktilen Informationsaufnahme auf das GG.

**1.4.3 Visus.** Das GG im aufrechten Stand hängt mit visuellen Informationen zusammen, was bereits mehrfach nachgewiesen werden konnte (Buchanan & Horak, 1999; Duarte & Zatsiorsky, 2002). Ist das visuelle Sichtfeld eingeschränkt, so erhöhen sich die Körperschwankungen (Hafstrom, Fransson, Karlberg, Ledin & Magnusson, 2002). Anhand einer Studie untersuchten die Autoren die Körperschwankungen in vier verschiedenen Settings: mit offenen oder geschlossenen Augen, in heller oder dunkler Umgebung.

Taube, Leukel und Gollhofer (2008) konnten reduzierte Körperschwankungen bei visuellem Feedback nachweisen. Dazu testeten sie Probanden auf einem Wackelbrett. Die Probanden fuhren mit einem Laserpointer einem aufgezeichneten Kreis an einer Wand nach. Einmal war der Kreis mit den Körperbewegungen verbunden und bewegte sich mit, ein anderes Mal blieb er zur Kontrolle unabhängig und statisch. Bewegte sich der Kreis mit den Körperbewegungen mit, konnte dieser nicht mehr als Referenzpunkt genutzt werden und das Ungleichgewicht wurde grösser im Vergleich zum statischen Kreis. Der Hoffmann-Reflex (H-Reflex) verhält

sich genau umgekehrt dazu und wurde beim statischen Kreis grösser. Der H-Reflex beschreibt ein elektrisches Signal, welches vom Muskel über afferente Nervenbahnen zum Rückenmark geleitet wird. Von dort wird es wieder zurück über das alpha-Motoneuron zur motorischen Endplatte geleitet. Durch Elektromyografie am Muskel kann die Muskelantwort gemessen werden. Im Versuch von Taube et al. (2008) wurde der H-Reflex durch visuelles Feedback begünstigt. Das visuelle Feedback führte zu mehr Stabilität. Taube et al. (2008) bestätigten in einer weiteren Studie die Erkenntnis, dass die visuellen Informationen das GG stark beeinflussen.

Eine Studie von Ledebt et al. (2005) kam zum gleichen Erkenntnis. Sie führten visuelles Feedbacktraining mit Kindern durch. Die Kinder fixierten einen Punkt, welcher ein Abbild des Körperschwerpunkts darstellte. Die Aufgabe bestand darin, diesen Punkt möglichst ruhig zu halten. Kinder mit visueller Unterstützung konnten den Körperschwerpunkt ruhiger halten als Kinder ohne visuelles Feedback.

Bewegt sich ein virtuelles Bild vor den Probanden, so ruft dieses Körperhaltungsreaktionen hervor (Guerraz, Thilo, Bronstein & Gresty, 2001; Mergner, Schweigart, Maurer & Blumle, 2005). Der Körper reagiert auf visuelle Reize und nimmt diese wahr. Brodal (1981) erkannte, dass visuelle Informationen an das Kleinhirn weitergegeben werden, wo die Inputs zur Anpassung des GGs genutzt werden. Mit der Aufnahme visueller Informationen stellt das Kleinhirn die Verbindung der GGs-Organen und dem Motorkortex dar.

**1.4.4 Vestibularorgan.** Erstmals entdeckten Nashner, Shupert, Horak und Black (1989) das Vestibularorgan und dessen Einfluss auf das GG. Es sitzt im Inneren des Endolymphschlauchs (Huppelsberg & Walter, 2013). Drei zueinander senkrecht stehende Bogengänge (Abbildung 1), sowie die Otholitenorgane *Macula sacculi* und *Macula utriculi* bilden das

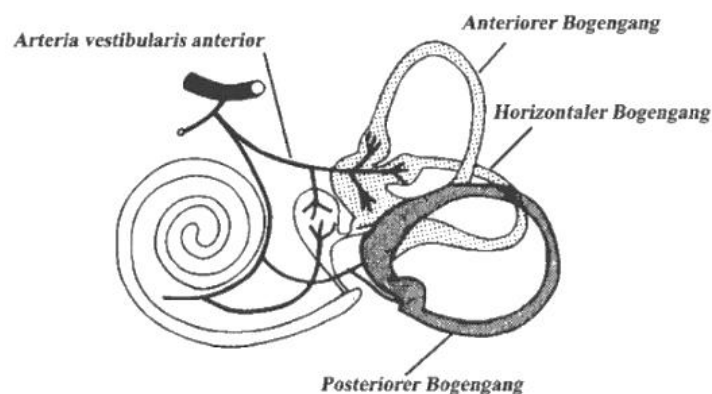


Abbildung 1. Vestibularorgan – Bogengänge und Otholitenapparat (Wiest & Deeke, 2005, S. 31).



Vestibularorgan (Silbernagl, 2012). Durch die Anordnung der Bogengänge in allen drei Raumebenen registrieren sie vor allem lineare und drehende Beschleunigungen.

Das Vestibularorgan nimmt Bewegungen und Rotationsbeschleunigungen des Kopfes wahr. Es kann dabei nicht unterscheiden, ob sich der ganze Körper oder nur der Kopf dreht. In den Vestibularkernen werden Informationen von den Propriozeptoren der Halsmuskulatur und Visus verschaltet. Diese Informationen lösen einen Reflex aus, welcher Änderungen der Kopfstellung durch eine gegenläufige Augenbewegung korrigiert (Silbernagl, 2012).

**1.4.5 Anpassungen im Körper.** Lavoie, Cody und Capaday (1995) erlangten Einblicke auf die Muskelaktivität und der damit verbundenen Hirnaktivität mittels Elektromyografie. Die Resultate ihrer Studie beinhalten eine schnelle Regulation des Motorkortexes für willkürliche Ansteuerungen sowie für die Stabilisierung des GGs.

Jahn et al. (2004) untersuchten Probanden mit einer funktionellen Magnetresonanztomographie. Die Probanden mussten sich vorstellen, wie sie stehen, gehen, springen oder liegen. Bereits bei der Vorstellung des Standes konnte eine Zunahme der Aktivität in den Basalganglien, Kleinhirn und Thalamus verzeichnet werden.

Durch Sehnen-Vibrationen aktivierten Goble et al. (2011) Muskelspindeln bei Probanden und untersuchten die aktiven Gehirnareale durch funktionelle Magnetresonanztomographie. Die Kraftverteilung des Körperschwerpunktes zeigte Zusammenhänge mit der neuronalen Aktivität im Gehirn auf. Mit einer besseren GGs-Leistung gingen auch Aktivitäten im kortikalen Bereich und in den Basalganglien einher.

Untersuchungen zeigten, dass posturale Instabilität den Zustand und die Rolle des Motorkortexes bei der Aufrechterhaltung des GGs verändern konnten (Solopova, Kazennikov, Deniskina, Levik & Ivanenko, 2003). Die Autoren wiesen eine deutliche erhöhte Muskelaktivität auf instabilen Unterlagen aus. Diese Erkenntnisse konnten mit Elektromyografie und transkraniale Magnetstimulation aufgezeichnet werden. Spinale Anpassungen nach dem GGT konnten Taube et al. (2007b) durch die periphere Nervenstimulation mittels H-Reflex erkennen. Nach vierwöchigem GGT stellten die Autoren eine Anpassung auf spinaler und supraspinaler Ebene fest. Supraspinale Anpassungen sind primär für die Verbesserungen der Standstabilität zuständig (Taube et al., 2007b).

Um motorische Fähigkeiten zu erlernen, verändert und adaptiert sich der Motorkortex, indem die grauen und weissen Substanzen angepasst werden (Boyke, Driemeyer, Gaser, Buchel & May, 2008; Draganski et al., 2004; Scholz, Klein, Behrens & Johansen-Berg, 2009). Während sich die graue Substanz überwiegend aus Zellkörpern von Neuronen zusammensetzt, besteht

die weisse Substanz aus Nervenzellenfortsätzen des Zentralnervensystems. Bereits nach zwei GGs konnten Taubert et al. (2010) eine Volumenerhöhung der grauen Substanz in frontalen und parietalen Hirnregionen feststellen. Zusammen mit der Leistungsverbesserung korrelierte die Volumenerhöhung der grauen Substanz im präfrontalen Kortex. Die mikrostrukturellen Veränderungen treffen genauso auf die weisse Substanz zu.

Taube et al. (2006) schreiben dem *musculus soleus* eine bedeutende Aufgabe zu, wenn es zur Stabilisierung des GGs kommt. Die Autoren haben Messungen mit transkranieller Magnetstimulation und peripherer Nervenstimulation durchgeführt. Sie fanden heraus, dass der *musculus soleus* transkortikal mit direkten kortikospinalen Bahnen angesteuert wird. Abschliessend konnten sie die Beteiligung des Motorkortexes beim ungestörten Stand sowie auch eine starke kortikale Aktivität bei GGs-Reaktionen nachweisen. Tokuno, Taube und Cresswell (2009) führten die Forschungen weiter und untersuchten den Effekt mit transkranieller Magnetstimulation und transkranieller Elektrostimulation. Probanden wurden mit und ohne Unterstützung im freien Stand gemessen. Die kortikale Erregbarkeit ist im freien Stand gegenüber dem unterstützten Stand erhöht, was die Autoren vermuten lässt, dass der Motorkortex fähig ist, auf Störungen zu reagieren. Die Aktivität ist zudem für weitere kortikale Strukturen wichtig. Je herausfordernder eine Aufgabe erscheint, desto aktiver werden Basalganglien, Kleinhirn und Hirnstamm. Die erhöhten subkortikalen Gehirnaktivitäten konnten Ouchi, Okada, Yoshikawa, Nobezawa und Futatsubashi (1999) nachweisen.

Die Stimulation des Kleinhirns mittels transkranieller Magnetstimulation ist kaum zugänglich. Nashner (1976) führte deshalb GGs-Tests mit Kleinhirnpatienten und gesunden Probanden durch. Kleinhirnpatienten weisen eine eingeschränkte Funktion des Kleinhirns aus. Bei mehrmaligen Versuchen von GGs-Tests konnten bei gesunden Probanden bereits nach zwei Versuchen Anpassungen beobachtet werden, während bei Kleinhirnpatienten nach zehn Versuchen noch keine Anpassung zu verzeichnen war. Die Zunahme der Stabilität lässt Nashner (1976) schlussfolgern, dass für Anpassungen der GGs-Reaktion das Kleinhirn eine entscheidende Rolle spielt.

### **1.5 Exemplarische Sportarten und deren Wirkungsweise auf das Gleichgewicht**

Nach einer zwölfwöchigen Intervention im Alpin-Skifahren untersuchten Lauber, Keller, Gollhofer, Müller und Taube (2011) die Auswirkungen auf das GG. Die Probanden fuhren an 28.5 Tagen durchschnittlich 3 h 27min Ski. Die Resultate zeigten eine erhöhte Erregbarkeit des H-Reflexes und eine Reduktion von posturalen Schwankungen. Die Autoren gehen davon

aus, dass Alpin-Skifahren das GG verbessert, indem die afferente Rückmeldung effizienter genutzt wird.

Keller et al. (2012) untersuchten die Auswirkungen von Slacklinetraining auf das GG. Die H-Reflexe verminderten sich signifikant. Gleichzeitig zeichnete die Elektromyografie keine Veränderungen auf, was die Autoren vermuten lässt, dass präsynaptische und nicht postsynaptische Mechanismen für die Veränderung der afferenten Übertragung verantwortlich sind. Weitere Untersuchungen stellten eine reduzierte *anterior-posterior*-Schwankung fest (Pfusterschmied et al., 2013). Beide Studien postulieren nicht nur trainingsspezifische Verbesserungen sondern auch eine Leistungsverbesserung des GGs.

Inline-Skaten hat besonders bei anspruchsvollen Testbedingungen einen positiven Einfluss auf das GG (Taubke, Bracht, Besemer & Gollhofer, 2010). Die Autoren untersuchten nach einer fünfwöchigen Intervention Probanden auf einer beweglichen Kraftmessplatte im Ein- und Zweibeinstand, auf einer festen Kraftmessplatte im Ein- und Zweibeinstand mit und ohne Therapiekreisel und im *Functional Reach Test* auf festem Untergrund. Der *Functional Reach Test* überprüft die maximale Vorneigungsfähigkeit mit ausgestreckten (90°-Winkel) Armen. Mit dem Verweis auf das Gefahrenpotential bei Stürzen heben die Autoren die grössten Verbesserungen bei anspruchsvollen Testbedingungen hervor.

Die Muskelkraft in den unteren Extremitäten ist entscheidend für das GG. Zusammen mit dem dynamischen GG sind sie unabhängige Prädikate für standardisierte Schätzungen der Lebensqualität (Karinkanta, Heinonen, Sievanen, Uusi-Rasi & Kannus, 2005). Sportliche Tätigkeiten wie Spazieren, Nordic Walking, Skilanglauf, Schwimmen oder Aqua-Fit, welche in einer Studie 33 % der Probanden als regelmässige Tätigkeit angegeben haben, erhöhen unter anderem genau diese Lebensqualitäten. Karinkanta et al. (2005) untersuchten dabei das dynamische GG und das statische GG. Die Varianz von 42 % bestätigt die Verbindung vom dynamischen GG und gesundheitsbezogenen Lebensqualitäten bei älteren Frauen (Karinkanta et al., 2005). Es besteht demnach ein positiver Zusammenhang zwischen dem dynamischen GG und der Lebensqualität. Diese Erkenntnisse könnten sich genauso auf andere Probandengruppen übertragen lassen, da sich regelmässige, sportliche Tätigkeiten bei allen Probandengruppen positiv auf die Lebensqualitäten auswirken können.

## **1.6 Forschungslücke**

Das GGT ist in der Praxis zwar längst zur Routine geworden, doch scheint für Brachman et al. (2017) noch Einiges unerforscht bezüglich GGT, so z.B. die effizienteste Trainingsform, die Trainingsfrequenz, die Intensität oder die Übungszeit, um bestmögliche Resultate zu er-

reichen. Lesinski, Hortobagyi, Muehlbauer, Gollhofer und Granacher (2015a) sehen wie Brachman et al. (2017) die Regulierung der Intensität von GGT noch ungenügend erforscht.

Explosives Krafttraining scheint mit reduzierten Lasten und Rumpfkrafttraining auf instabilen Unterlagen die alltagsmotorische Handlungsfähigkeit zu verbessern (Granacher et al., 2013; Granacher et al., 2011). Eine evidenzbasierte Verbesserung des GGs steht noch aus.

Zwar wurde nach Granacher et al. (2011) viel über GGT geforscht, jedoch noch zu wenig über Empfehlungen von einer Dosis-Wirkung-Beziehung. Eine Dosis-Wirkung-Beziehung beschreibt z.B. das Trainingsvolumen oder die -häufigkeit. Es bedarf detaillierterer Studien, um genauere Angaben zu einer Dosis-Wirkung-Beziehung zu machen. Zudem sollten weitere Studien mit qualitativ hochstehenden Methoden durchgeführt werden, um die Wirkungsweise von GGT besser zu verstehen (Lesinski et al., 2015a). Sherrington, Tiedemann, Fairhall, Close und Lord (2011) gaben in einer Metaanalyse Empfehlungen für GGT heraus, dennoch schlagen sie weitere Studienversuche mit älteren Erwachsenen vor, um die Wirkungsweise der Bewegungen besser erklären zu können. Ebenfalls müssen GGs-Arten wie proaktives oder reaktives GGT weiter erforscht werden. Noch immer unklar ist die Wirkungsweise von GGT vor oder nach der sportartenspezifischen Trainingseinheit sowie die Entwicklungen und Verluste des GGs ohne GGT (Lesinski et al., 2015a).

Forschungsergebnisse zeigen spezifische Wirkungen einzelner GGs-Aufgaben. Ob das GGT generell auf andere GGs-Aufgaben Auswirkungen hat, wurde bis anhin nur ungenügend erforscht (Kümmel et al., 2016).

Jede Sportart erfordert individuelles und spezifisches GGT, weshalb es Forschern nicht gelungen ist, einen Goldstandard für GGT zu definieren. Noch gibt es keine evidenzbasierten GGs-Leitlinien für Athletinnen oder Athleten (Brachman et al., 2017; Lesinski, Hortobagyi, Muehlbauer, Gollhofer & Granacher, 2015b).

## **1.7 Ziel und konkrete Fragestellung**

Um die bestehende Forschungslücke zu schließen, stellt die vorliegende Arbeit einen Teil einer umfangreichen Studie dar, in welcher längerfristige Tests vor, während und nach der Intervention mit älteren und jüngeren Probanden durchgeführt wurden.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand bereits publizierter, systematischer Reviews Trainingsempfehlungen zur GGs-Verbesserung von jüngeren und älteren Erwachsenen zu erstellen. Von der Literatur ausgehend soll ein Übungskatalog entstehen, welcher variabel an jedes Niveau im Jugend- und Erwachsenenalter angepasst werden kann.

Zweitens soll überprüft werden, ob die erstellten Übungen einen empirisch nachweisbaren Effekt auf das GG einer Trainingsgruppe haben und welche Probandengruppe grössere GGs-Effekte erzielt.

Daraus ergeben sich folgende vier Fragestellungen:

*Fragestellung 1:*

Welche Trainingsempfehlungen für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren können für GGT anhand systematischer Reviews erstellt werden?

*Fragestellung 2:*

Wie gestaltet sich ein systematischer Übungskatalog für GGTs aufgrund wissenschaftlicher Reviews für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren?

*Fragestellung 3:*

Werden in zwei Monaten empirisch nachweisbare Effekte im GG mit dem erstellten Übungskatalog für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren im Vergleich zur Kontrollgruppe erzielt?

*Fragestellung 4:*

Erzielen gesunde Senioren innerhalb der zweimonatigen Trainingsintervention grössere Fortschritte im Vergleich zu gesunden jungen Erwachsenen?

## 2 Methode

### 2.1 Untersuchungsgruppe

An der Studie haben 40 Probanden ( $w = 17$ ) teilgenommen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden in vier Gruppen unterteilt: zwei Interventionsgruppen und zwei Kontrollgruppen (Tabelle 1).

Tabelle 1

*Randomisierte Gruppenaufteilung der Probanden*

Gruppe	Anzahl Pd	Alter [Jahre]	
		MW	SD
Interventionsgruppe junge Erwachsene	10 ( $w = 4$ )	22.66	$\pm 1.89$
Interventionsgruppe Senioren	10 ( $w = 5$ )	70.48	$\pm 3.25$
Kontrollgruppe junge Erwachsene	10 ( $w = 2$ )	25.84	$\pm 2.87$
Kontrollgruppe Senioren	10 ( $w = 6$ )	69.80	$\pm 3.99$

*Anmerkungen.* Pd = Probanden, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung,  $w$  = weiblich.

Orthopädische Blessuren wurden als Ausschlusskriterium für die Probanden festgelegt. Alle Probanden unterschrieben eine Einverständniserklärung zur Studie und zur Datenverwendung. Die Ethikkommission des Kantons Fribourg prüfte und bewilligte das Untersuchungsdesign.

### 2.2 Untersuchungsdesign

In einem ersten Teil wurden Trainingsempfehlungen im Jugend- und Erwachsenenalter für GGTs anhand von systematischen Reviews aufgearbeitet. Der zweite Teil (Intervention) beinhaltete den Aufbau der Übungslektionen für junge Erwachsene und Senioren, während der dritte Teil die Effekte des GGTs überprüfte, um diese miteinander zu vergleichen.

**2.2.1 Trainingsempfehlungen.** Exemplarisch wurden sechs Reviews ausgewählt, welche konkrete Trainingsempfehlungen für GGT zusammengetragen haben. Alle Reviews testeten gesunde Probanden. Die sechs Reviews sowie weitere Erkenntnisse aus den Trainingswissenschaften und der GGs-Forschung ergaben Trainingsempfehlungen, welche die Grundlage für einen Übungskatalog darstellten. Dieser enthält aufbauende GGs-Lektionen, welche variabel, niveauangepasst und somit geeignet für junge Erwachsene und Senioren sind.

**2.2.2 Intervention.** Total absolvierten die Probanden 48 Trainingseinheiten, wobei für die vorliegende Studie die Leistungsevaluation nach 16 Trainingseinheiten eingesetzt hatte. Die Probanden konnten wöchentlich von vier möglichen Trainingseinheiten zwei auswählen. Jede Übungslektion wurde in drei Teile gegliedert: 10min Aufwärmen, 20 bis 30min Hauptteil und 5min Ausklang (exemplarische Unterrichtseinheit siehe Anhang D; E). Jeweils zwei GGTs beinhalten dasselbe Überthema mit ähnlichen Übungsinhalten. Die GGTs fanden an zwei verschiedenen Standorten statt, instruiert von jeweils zwei unterschiedlichen Trainingsleitern. Die GGTs bedienten sich einfachen Trainingsgeräten, die oft in jeder Turnhalle zu finden sind (Mögliche Trainingsgeräte siehe Anhang A). Die Trainingsinhalte waren eine Mischung von selbst kreierten GGs-Übungen basierend auf den zusammengetragenen Trainingsempfehlungen und konkreten GGs-Übungen aus der Literatur. Die Probanden starteten das Interventionsprogramm gestaffelt über mehrere Monate.

**2.2.3 Gleichgewichtstests.** Die Probanden absolvierten mehrere Tests zur Überprüfung des GGs. Für die vorliegende Arbeit wurden zwei GGs-Tests evaluiert: Die Probanden wurden auf dem Posturomed und anschliessend auf dem Gesundheitskreisel getestet. Um die Veränderungen aufgrund der Intervention zu bestimmen, fanden Messungen vor der Intervention und nach zwei Monaten mit einem Mid-Test statt. Die beiden GGs-Tests der Leistungsevaluation folgten einem Messprotokoll (Anhang C) mit genauer Instruktion und identischen Rahmenbedingungen: Sie wurden jeweils aufgefordert die Hände in die Hüfte zu stemmen und so ruhig wie möglich stehen zu bleiben. Vier Niveaus konnten auf dem Posturomed und auf dem Gesundheitskreisel erreicht werden. Die Probanden balancierten jeweils zweimal 30s in einer leichten Knieflexion. Sie hatten jederzeit die Möglichkeit, sich am Geländer festzuhalten und konnten im Notfall durch eine Hilfsperson gestützt werden. Die Probanden erreichten das nächste höhere Niveau, wenn die Abbruchkriterien nicht mehr als dreimal erfüllt wurden. Die Abbruchkriterien enthielten folgenden Bedingungen: sich am Geländer abstützten, den freien Fuss während des Einbeinstandes aufsetzten oder von der Hilfsperson gestützt zu werden.

**Posturomed.** Die Probanden standen auf dem Posturomed und fixierten die Wand, während jedes Niveau zweimal absolviert werden musste. Die vier möglichen Niveaus waren:

1. Zweibeiniger Stand mit offenen Augen (Trg 1)
2. Zweibeiniger Stand mit geschlossenen Augen (Trg 2)
3. Einbeiniger Stand mit offenen Augen (Trg 3)
4. Einbeiniger Stand mit geschlossenen Augen (Trg 4)

Zweibeinig standen die Probanden mittig auf dem Posturomed und einbeinig auf der aufgezzeichneten Zielscheibe.

**Gesundheitskreisel.** Bei jedem der vier Niveaus fixierten die Probanden ein Kreuz, welches auf einem Bildschirm projiziert wurde. Beim ersten Niveau balancierten die Probanden auf einem Kunststoffgesundheitskreisel. Das zweite bis vierte Niveau bestand darin, das GG auf einem Holzgesundheitskreisel zu halten. Die Unterstützungsfläche der Gesundheitskreisel wurde mit zunehmendem Niveau kleiner. Die Gesundheitskreisel befanden sich auf einer Kraftmessplatte, welche die Messdaten aufzeichnete.

### 2.3 Untersuchungsinstrumente

Die Kraftmessplatte (AMTI OR6-7-2000; Advanced Mechanical Technology Inc., Wadsworth, MA, USA) (508 mm x 464 mm) misst Kräfte [N] in drei Dimensionen und stellt eine stabile Unterlage dar. Durch die auftretenden Kräfte zeichnet die Kraftmessplatte den Körperschwerpunkt (Center of pressure; COP) auf [mm]. Nach Shumway-Cook und Woollacott (2007) stellt die Druckpunktverteilung des Fusses eine vertikale Projektion der Körpermasse dar. Die COP-Daten zeigen den Bewegungsablauf des Körperschwerpunktes. Die Standfläche (600 mm x 600 mm) des Posturomed (Haider, Bioswing, Pullenreuth, Germany) ist aufgehängt an Schwingelementen, welche dosiert gedämpfte Ausweichbewegungen ermöglichen. Transversal (*medio-lateral* und *anterior-posterior*) kann sich das Schwingelement frei bewegen. In neutraler Position beträgt die maximale Bewegungsamplitude *medio-lateral* und *anterior-posterior* jeweils 70 mm. Muller, Gunther, Krauss und Horstmann (2004) prüften das Posturomed und bestätigten dessen Wissenschaftlichkeit für Aufzeichnungen des Bewegungsablaufs. Dabei zeichnet das Posturomed die Bewegungen des Schwingelements [mm] auf, welche von den Probanden verursacht wurde.

### 2.4 Datenanalyse

Die Daten wurden im Labor mit der IMAGO Record software (Pfitec Biomedical Systems, Endingen, Germany) aufgezeichnet und anschliessend im MATLAB (R2014b, MathWorks, Natick, MA, USA) mittels Skripte aufbereitet und im Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel 2010, Microsoft Corporation, Redmond, OR, USA) zusammengetragen. Die Datenanalyse erfolgte in R-Studio (Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA, USA). Um die Fortschritte von jungen Erwachsenen und Senioren zu vergleichen, wurde eine ANOVA im mixed Design durchgeführt. Gerechnet wurde jeweils mit dem Mittelwert der beiden Wiederholungen pro Niveau. Um das höchste erreichte Niveau zu bestimmen, musste die



Fehlerquote bei beiden Versuchen weniger als drei sein sowie beim pre- und post-Test das gleiche Niveau erreicht werden. Somit wurde für jeden Probanden sein individuelles Niveau festgehalten. Bei signifikanten Daten wurde anschliessend *pairwise t-tests* mit einer *Benjamini Hochberg* Korrektur durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0.05$  festgelegt. Um die Resultate verständlich zu machen, wurde die prozentuale Veränderung der Mittelwerte berechnet.

### 3 Resultate

Die Resultate lassen sich in drei Teile aufgliedern. Der erste und zweite Teil (3.1 Trainingsempfehlungen und 3.2 Aufbau und Inhalt der Übungslektionen) befasst sich mit qualitativen Erkenntnissen aufgrund wissenschaftlicher Reviews. Der dritte Teil (3.3 Effekte des Gleichgewichtstrainings) beinhaltet quantitative Messdaten von den GGs-Tests.

#### 3.1 Trainingsempfehlungen

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht aktueller Reviews über Erkenntnisse und Empfehlungen im GGT. Dargestellt sind sechs Reviews, zwei Reviews mit Untersuchungen von jüngeren Erwachsenen und vier Reviews von Senioren.

Die Intervention soll neue Reize im GGT hervorrufen, indem die Probanden eine stufenweise schwierigere Haltung einnehmen (American College of Sports et al., 2009; Granacher et al., 2013). Das bedeutet eine verringerte Unterstützungsfläche vom Zweibeinstand, Semitandemstand, Tandemstand zum Einbeinstand, um wie bei DiStefano, Clark und Padua (2009) und Lesinski et al. (2015b) das GGT herausfordernd zu gestalten. Das GGT kann weiter erschwert werden, indem die sensorischen Inputs reduziert werden (American College of Sports et al., 2009; Granacher, Muehlbauer, Gschwind, Pfenninger & Kressig, 2014). Visuelle Informationen können z.B. durch einäugige GGs-Übungen oder geschlossene Augen reduziert werden, während die Reduktion der taktilen Informationsaufnahme durch instabile Unterlagen geschehen kann. Nach Granacher et al. (2014) und Sherrington et al. (2011) können folgende Trainingsempfehlungen adaptive Anpassungen hervorrufen:

- Verlagerung des Körperschwerpunkts
- Vermeidung von stabilisierenden Extremitäten (Beine, Arme)
- Integration von taktilen Störreizen wie z.B. Anstupsen oder Anstossen
- Integration von kognitiven oder motorischen Störreizen wie z.B. Dualtaskaufgaben (rückwärts zählen, Ball prellen)

GGT in Kombination mit Krafttraining kann zu Verbesserungen im GG führen. Wird jedoch Krafttraining ohne GGT durchgeführt, konnten keine Steigerungen des GGs aufgezeigt werden (Gillespie et al., 2012; Latham, Anderson, Bennett & Stretton, 2003; Liu & Latham, 2009). Daraus konkludieren die Autoren, dass Spaziergänge, Lauf- oder Krafttraining das GGT komplettieren können, doch sollten sie nicht die effektive Trainingszeit des GGTs vermindern (Sherrington et al., 2011). Der Anhang B bietet eine adaptierte Übersicht von Variationsmöglichkeiten im GGT.

Tabelle 2

*Übersicht ausgewählter Reviews mit Gleichgewichtserkenntnissen über Trainingseckzahlen von jüngeren Erwachsenen und Senioren*

	Autoren	Jahr	Titel	D/T [min]	D I [Wo]	A/Wo	A T	A Ü	A Wdh	D/Ü [s]	Konklusion
Senioren	Brachman, Kamieniarz, Michalska, Pawłowski, Słomka & Juras	2017	Balance Training Programs in Athletes – A systematic Re- view	40 - 50	8	2					- Kein GGT, welches auf jede Sportart passt. - kein Goldstandart im GGT.
	Granacher, Muehlbauer & Gruber	2012	A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: impact for testing and training		12 - 13	2 - 3 Mind. 120 min		3 - 8		20 - 40	- Statisches und dynamisches GG sollten in jedes GGT integriert werden. - Die verschiedenen GGs-Arten sind unabhängig und sollten sepa- rat trainiert werden.
	Lesinski, Hortobágyi, Muehlbauer, Gollhofer & Granacher	2015	Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis.	31 - 45	11 - 12	3 Mind. 91 – 120 min	36 - 40				- Kein Alters-Effekt: Junge und ältere Erwachsene gleiche GGs- Bedingungen. - Keine evidenzbasierten Leitlinien für alle GGT-Modalitäten. - GGT sollte dauerhaft praktiziert werden, um Rückgänge im GG zu vermeiden.
	Sherrington, Tiedemann, Fairhall, Close & Lord	2011	Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta- analysis and best practice recommen- dations		24	Mind. 120 min	Mind. 50 h				- Moderate bis hohe Trainingsin- tensität. - Genügend lange Trainingsinter- vention (Mind. 50 h). - Weiterführende Übungen. - GGT für Risikogruppen, sowie auch für die Gesamtbevölkerung. - GGT für zu Hause oder angelei- tet in Gruppen. - Laufübungen können GGT er- gänzen, jedoch ohne die Trai- ningszeiten zu verringern - Krafttraining kann in GGT inklu- diert werden



### 3.2 Aufbau und Inhalt der Übungslektionen

Jede Übungslektion war einem Überthema untergeordnet. Die GGT waren progressiv aufgebaut. Der Trainingsverlauf entwickelte sich vom statischen GGT zum dynamischen, reaktiven und proaktiven GGT. Trotz der Akzentuierung auf einzelne Schwerpunkte enthielten die meisten Trainings alle vier verschiedenen Gleichgewichtsarten. Die ersten vier Trainings waren mehrheitlich auf das statische GG fokussiert. In den ersten GGT wurden den Probanden verschiedene Standvarianten erklärt (Anhang B), um das statische GG zu verbessern. Die Probanden absolvierten GGs-Übungen im breitbeinigen Stand, im Semi-Tandemstand, im Tandemstand und schliesslich im Einbeinstand. Bei den weiteren Trainings rückte das dynamische GGT in Vordergrund. Mit dem dynamischen Training führten die Probanden vermehrt Schritte und Sprünge aus. Die Übungslektionen enthielten oft Parkours oder Stationentraining, wo die Probanden auf instabilen Unterlagen, Trampolin, Slackline oder Balanceseil ihr GG trainierten. Gelegentlich absolvierten die Probanden GGs-Übungen am Boden, während dem Skipping oder während dem Tanzen. Um das reaktive und proaktive GG zu trainieren wurden die Probanden aufgefordert sich durch Partnerkämpfe, Reaktionsübungen oder in Wettkampf- und Spielformen zu duellieren. Die Trainingsunterlage veränderte sich fortlaufend und wurde immer instabiler und somit herausfordernder. Die Probanden erhielten die Möglichkeit jede GGs-Übung zu erschweren oder zu vereinfachen, indem sie ein bis vier Variationen pro GGs-Übung zur Auswahl hatten. Zudem waren die Übungen der GGT so aufgebaut, dass jederzeit Neueinsteiger mitmachen konnten. Die Probanden absolvierten die GGs-Übungen mit einer mittleren Intensität und ausreichender Pausenzeit zwischen den einzelnen GGs-Übungen. Spezifische Kräftigungsübungen wurden weder geplant noch durchgeführt.

### 3.3 Effekte des Gleichgewichtstrainings

Die Tabelle 3 zeigt die Testresultate des ANOVA im mixed Design. Daraus ergaben sich signifikante Werte bei *main effect of TIME* ( $p = 0.02$ ) auf der Kraftmessplatte mit der tiefsten Schwierigkeitsstufe bei jungen Erwachsenen und bei *main effect of GROUP* ( $p = 0.04$ ) und *Interaction effect of TIME x GROUP* ( $p = 0.04$ ) mit der höchsten Schwierigkeitsstufe bei jungen Erwachsenen. Der anschliessende *pairwise t-test* zeigt keinen signifikanten Unterschied innerhalb der Interventionsgruppen bei pre- und post-Vergleichen. Alle weiteren Werte der Testresultate weisen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied auf (Tabelle 3). Die Abbildung 4 bis Abbildung 7 sowie die Tabelle 4 zeigen den mittleren Schwankweg zwischen pre- und post-Test auf der Kraftmessplatte und auf dem Posturomed von jungen Erwachsenen und Senioren. Dargestellt sind Kontroll- und Interventionsgruppen beim tiefsten und höchsten

Schwierigkeitsniveau. Die prozentualen Veränderungen bildet die Tabelle 4 ab. Die Kontrollgruppe der jungen Erwachsenen (Jung, cont) hat eine positive Tendenz in jedem Niveau auf der Kraftmessplatte sowie auch auf dem Posturomed.

Tabelle 3

*ANOVA Testresultate aller Probandengruppen*

Gruppe	Variable	Dfd	F-Wert	p-Wert
KMP jung Trg 1	GROUP	(1,18)	2.72	0.12
	TIME	(1,18)	6.05	0.02*
	GROUP x TIME	(1,18)	1.66	0.21
KMP alt Trg 1	GROUP	(1,18)	0.30	0.59
	TIME	(1,18)	0.76	0.39
	GROUP x TIME	(1,18)	2.63	0.12
KMP jung Trg Best	GROUP	(1,18)	4.95	0.04*
	TIME	(1,18)	1.24	0.28
	GROUP x TIME	(1,18)	4.89	0.04*
KMP alt Trg Best	GROUP	(1,18)	0.15	0.70
	TIME	(1,18)	1.65	0.43
	GROUP x TIME	(1,18)	0.05	0.83
Pmd jung Trg 1	GROUP	(1,18)	1.09	0.31
	TIME	(1,18)	3.42	0.09
	GROUP x TIME	(1,18)	0.63	0.44
Pmd alt Trg 1	GROUP	(1,18)	0.44	0.51
	TIME	(1,18)	0.02	0.90
	GROUP x TIME	(1,18)	1.31	0.27
Pmd jung Trg Best	GROUP	(1,18)	3.29	0.08
	TIME	(1,18)	1.11	0.31
	GROUP x TIME	(1,18)	0.23	0.64
Pmd alt Trg Best	GROUP	(1,18)	0.92	0.70
	TIME	(1,18)	0.96	0.43
	GROUP x TIME	(1,18)	0.06	0.83

*Anmerkungen.* Dfd = Freiheitsgrad, KMP = Kraftmessplatte, Pmd = Posturomed, jung = junge Erwachsene, alt = Senioren, Trg 1 = Trigger 1 (kleinste Schwierigkeitsstufe), Trg Best = Trigger Best (höchste erreichte individuelle Schwierigkeitsstufe, siehe Kapitel 2.4). \*p < 0.05.

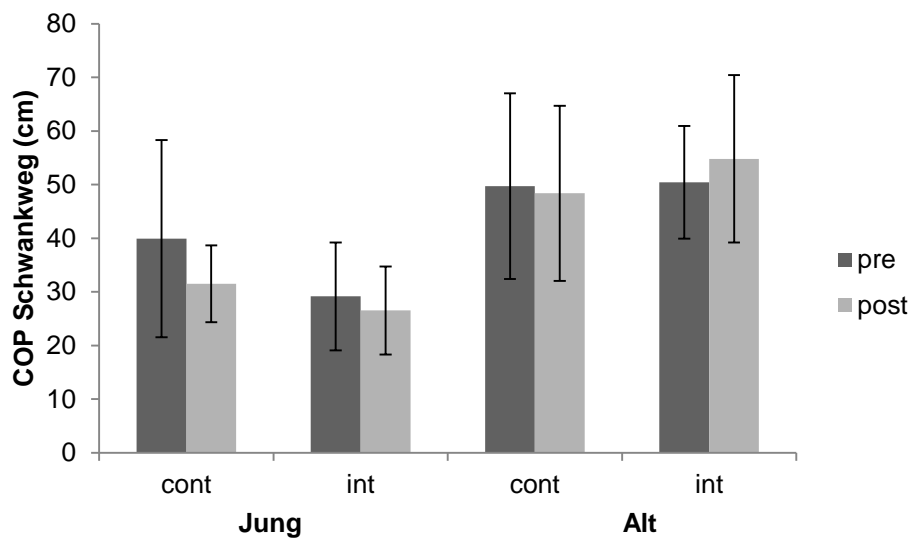


Abbildung 4. Kraftmessplatte Niveau 1 (siehe Kapitel 2.2.3). Mittlerer Schwankweg des Druckmittelpunktes (centre of pressure; cop) während 30s auf einem Gesundheitskreisel vor (pre) und nach (post) zwei Monaten Gleichgewichtstraining (Trainingsgruppe = int, Kontrollgruppe = cont, Jung = junge Erwachsene, Alt = Senioren,  $n = 40$ ). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung des Mittelwertes dar.

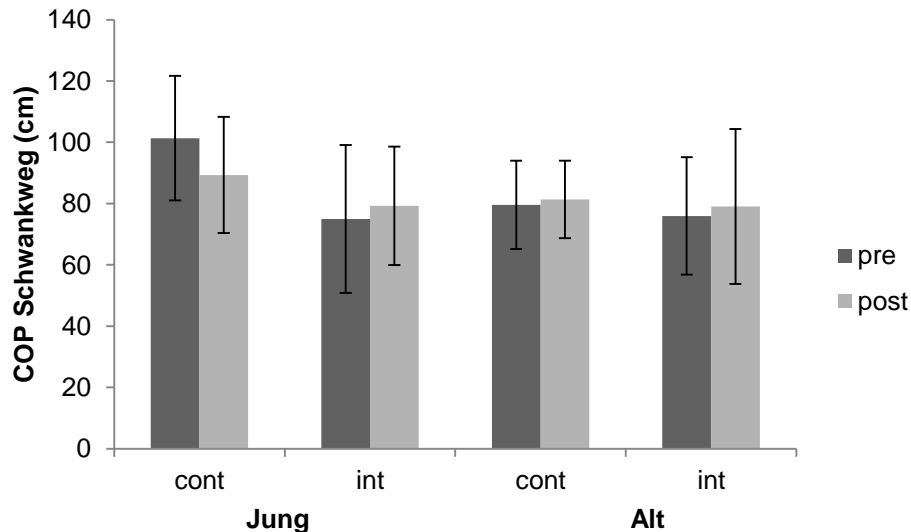


Abbildung 5. Kraftmessplatte Niveau best (siehe Kapitel 2.2.3 und 2.4). Mittlerer Schwankweg des Druckmittelpunktes (centre of pressure; cop) während dem Gesundheitskreisel-Test auf dem individuell erreichten höchstmöglichen Niveau. Die Probanden standen während 30s auf einem Gesundheitskreisel vor (pre) und nach (post) zwei Monaten Gleichgewichtstraining (Trainingsgruppe = int, Kontrollgruppe = cont, Jung = junge Erwachsene, Alt = Senioren,  $n = 40$ ). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung des Mittelwertes dar.

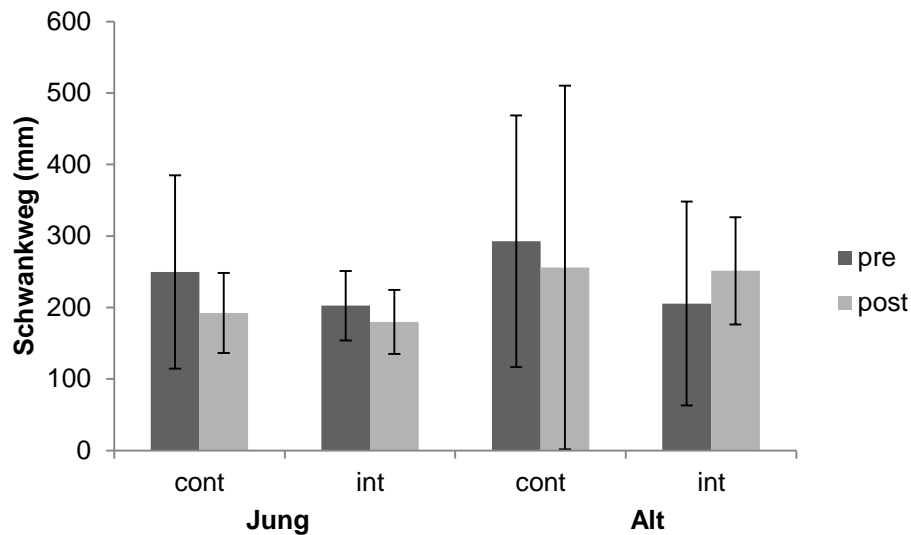


Abbildung 6. Posturomed Niveau 1 (siehe Kapitel 2.2.3). Mittlerer Schwankweg des Posturomeds während 30s im zweibeinigen Stand mit offenen Augen vor (pre) und nach (post) zwei Monaten Gleichgewichtstraining (Trainingsgruppe = int, Kontrollgruppe = cont, Jung = junge Erwachsene, Alt = Senioren,  $n = 40$ ). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung des Mittelwertes dar.

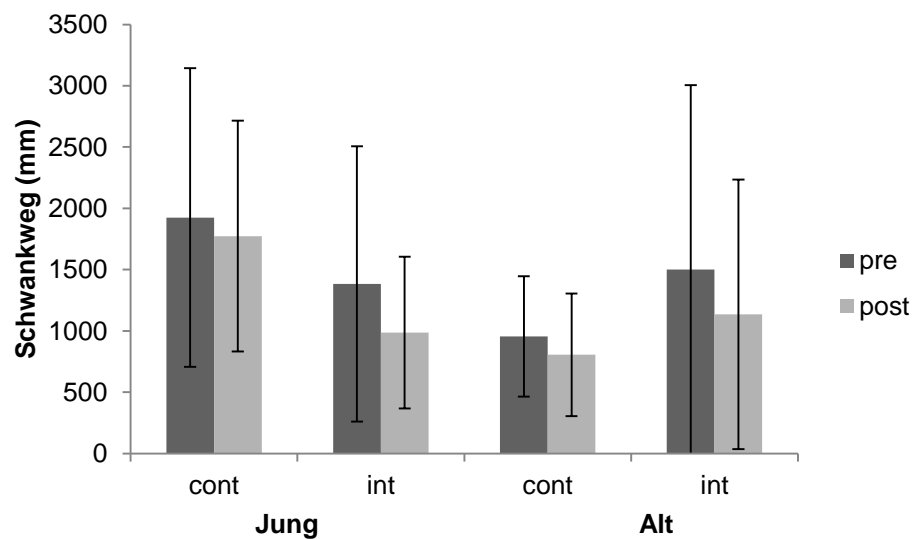


Abbildung 7. Posturomed Niveau best (siehe Kapitel 2.2.3 und 2.4). Mittlerer Schwankweg des Posturomeds während 30s auf dem Posturomed auf dem individuell erreichten höchstmöglichen Niveau vor (pre) und nach (post) zwei Monaten Gleichgewichtstraining (Trainingsgruppe = int, Kontrollgruppe = cont, Jung = junge Erwachsene, Alt = Senioren,  $n = 40$ ). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung des Mittelwertes dar.



Tabelle 4

*Mittlerer Schwankweg und die prozentuale Veränderung auf der Kraftmessplatte und auf dem Posturomed während der tiefsten und der höchstmöglichen Schwierigkeitsstufe*

Gruppe		Mittelwert $\pm$ SD [cm/mm]				%
		pre		post		
KMP jung Trg 1 [cm]	cont	39.93 $\pm$	18.38	31.51 $\pm$	7.16	21.09
	int	29.15 $\pm$	10.06	26.52 $\pm$	8.19	9.02
KMP alt Trg 1 [cm]	cont	49.71 $\pm$	17.34	48.39 $\pm$	16.33	2.66
	int	50.43 $\pm$	10.51	54.81 $\pm$	15.59	-8.69
KMP jung Trg Best [cm]	cont	101.34 $\pm$	20.29	89.31 $\pm$	18.96	11.87
	int	74.95 $\pm$	24.11	79.26 $\pm$	19.28	-5.75
KMP alt Trg Best [cm]	cont	79.58 $\pm$	14.41	81.34 $\pm$	12.66	-2.21
	int	75.96 $\pm$	19.13	79.08 $\pm$	25.27	-4.11
Pmd jung Trg 1 [mm]	cont	249.66 $\pm$	135.23	192.39 $\pm$	55.79	22.94
	int	202.50 $\pm$	48.43	179.68 $\pm$	44.79	11.27
Pmd alt Trg 1 [mm]	cont	292.70 $\pm$	176.04	256.03 $\pm$	254.46	12.53
	int	205.49 $\pm$	142.56	251.25 $\pm$	74.95	22.27
Pmd jung Trg Best [mm]	cont	1925.05 $\pm$	1217.63	1773.81 $\pm$	941.44	7.86
	int	1383.44 $\pm$	1124.22	987.22 $\pm$	619.02	28.64
Pmd alt Trg Best [mm]	cont	954.17 $\pm$	490.95	804.82 $\pm$	499.57	15.65
	int	1383.81 $\pm$	1506.67	1135.35 $\pm$	1098.68	17.95

Anmerkungen. KMP = Kraftmessplatte [cm], Pmd = Posturomed [mm], jung = junge Erwachsene, alt = Senioren, Trg 1 = Trigger 1 (kleinste Schwierigkeitsstufe), Trg Best = Trigger Best (höchste individuelle erreichte Schwierigkeitsstufe, siehe Kapitel 2.4)., cont = Kontrollgruppe, int = Interventionsgruppe, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, % = Veränderung in Prozent, pre = pre Test, post = post Test.

Auf dem tiefsten Niveau der Kraftmessplatte (KMP Trg 1) zeigt die Kontrollgruppe der jungen Erwachsenen (Jung, cont) eine positive Veränderung von 21.09 % auf und auf dem tiefsten Niveau des Posturomeds (Pmd Trg 1) eine positive Veränderung von 22.94 %. Die Interventionsgruppe der jungen Erwachsenen (Jung, int) sowie die Kontrollgruppe der Senioren (Alt, cont) deuten in allen Tests eine positive Tendenz an, ausser auf dem höchsten Schwierigkeitsniveau der Kraftmessplatte (KMP Trg Best). Auf dem höchsten Niveau des Posturomeds (Pmd Trg Best) ist bei der jungen Erwachsenen Interventionsgruppe (Jung, int) eine positive Veränderung von 28.64 % zu verzeichnen. Die Interventionsgruppe der Senioren (Alt, int) zeigt in allen Tests eine negative Tendenz ausser auf dem höchsten Niveau des Posturomeds (Trg Best). Auf dem tiefsten Niveau des Posturomeds (Trg 1) verminderten sie die Leistung vom pre- zum post-Test um -22.27 %.

## 4 Diskussion

### 4.1 Trainingsempfehlungen

*Fragestellung 1:* Welche Trainingsempfehlungen für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren können für GGT anhand systematischer Reviews erstellt werden?

Die Antwort zur Fragestellung 1 liefert die Übersicht der Tabelle 2. Die verschiedenen Reviews für junge Erwachsene und Senioren beinhalten folgende Trainingsempfehlungen:

**4.1.1 Dauer einer Trainingseinheit.** Die Autoren kommen zu unterschiedlichen Erkenntnissen bei der Dauer einer Trainingseinheit. Während Autoren eine Trainingszeit für jüngere Erwachsene von 10min (DiStefano et al., 2009) respektive 11 bis 15min (Lesinski et al., 2015a) empfehlen, postulieren Autoren für Senioren eine Trainingszeit von 40 bis 50min (Brachman et al., 2017) respektive 31 bis 45min (Lesinski et al., 2015b). Die Differenz der verschiedenen Trainingszeiten erklärt sich dadurch, dass bei den längeren Trainingszeiten das Aufwärmen und das Auslaufen miteingerechnet wurden.

Die Trainingszeiten sind so nur schwer vergleichbar und machen es schwierig, allgemeingültige Trainingszeiten für GGTs zu formulieren. Ohne Aufwärm- und Auslaufprogramm sollte die effektive Trainingszeit jedoch mindestens 10min betragen, um positive Effekte im GG zu erhalten. Werden Aufwärmen und Auslaufen in das Trainingsprogramm inkludiert sollte mindestens 30min (10min Aufwärmen, 10min GGT, 10min Auslaufen) trainiert werden. Diese Ansichten sind Minimalanforderungen für effizientes GGT und decken sich mit den Erkenntnissen verschiedener Autoren (Brachman et al., 2017; DiStefano et al., 2009; Lesinski et al., 2015a, 2015b).

**4.1.2 Dauer der Trainingsintervention.** Verschiedene Autoren (Granacher, Muehlbauer & Gruber, 2012; Lacroix et al., 2016; Sherrington et al., 2011; Sherrington et al., 2008) kommen zu unterschiedlichen Erkenntnissen der GGs-Forschung, welche dem Sturzrisikofaktor entgegenwirken. Untersucht wurden unterschiedlich lange Interventionsprogramme von 4 Wochen bis 24 Wochen. DiStefano et al. (2009) empfehlen 4 Wochen GGT, im Gegensatz dazu kamen Granacher et al. (2012) und Lesinski et al. (2015a, 2015b) auf ähnliche Empfehlungen mit einer Interventionsdauer von 11 Wochen bis 13 Wochen.

Sherrington et al. (2008) haben in einem Review Übungsvorschläge zusammengetragen, wo sie mindestens 24 Wochen GGT empfehlen. Um jedoch keine GGs-Defizite zu generieren,

empfehlen Granacher et al. (2012) und Sherrington et al. (2011) dauerhaftes und kontinuierliches GGT für Senioren. Demnach sei ein Leistungsgewinn von mindestens 20 % anzustreben (Gillespie et al., 2009; Sherrington et al., 2008).

Zusammenfassend ist dauerhaftes und kontinuierliches GGT sicherlich optimal um GGs-Defizite zu verhindern. Kurze Interventionen können jedoch bereits Trainingsfortschritte hervorrufen, zu empfehlen sind jedoch mindestens 24 Wochen GGT.

**4.1.3 Anzahl Trainingseinheiten pro Woche.** Hier geben alle Autoren ähnliche Richtwerte von mindestens zwei Trainingseinheiten pro Woche an. Wobei für die Autoren (Granacher et al., 2012; Lesinski et al., 2015b; Sherrington et al., 2011) eine Trainingszeit von 90 bis 120min pro Woche genauso wichtig erscheint wie die Anzahl der Trainingseinheiten.

Kurze (mind. 10 min) dafür regelmässige Trainingseinheiten empfiehlt sich, um Trainingsfortschritte zu verzeichnen. Es sollten jedoch mindestens zwei Trainingseinheiten pro Woche sein.

**4.1.4 Anzahl Trainingseinheiten Total.** Lesinski et al. (2015b) untersuchten Probanden mit 16 bis 19 Trainingseinheiten und Lesinski et al. (2015a) untersuchten Probanden mit 36 bis 40 Trainingseinheiten. Für bestmögliche Fortschritte im GG empfehlen Sherrington et al. (2011) jedoch mindestens 50 h. GGT unter 50 h führen demnach nicht zu optimalen GGs-Fortschritten. Für Sherrington et al. (2008) sind neben dem Trainingssetting die Trainingsprinzipien genauso wichtig. So scheint es auch entscheidender, kontinuierlich GG zu trainieren als ein Setting von 50 h zu erreichen. Genauso verhält es sich mit den GGs-Übungen pro Trainingseinheit oder der Dauer der GGs-Übung.

Eine geringe Anzahl GGTs von 16 Trainingseinheiten kann bereits positive GGs-Effekte erzeugen. Um optimale Resultate zu erreichen, empfiehlt sich jedoch 50 Trainingseinheiten. Als Sturzprophylaxe und aus der Sicht der Probanden empfehlen Lesinski et al. (2015b) jedoch keine Mindestanzahl an Trainingseinheiten sondern dauerhaftes und kontinuierliches GGT.

**4.1.5 Anzahl GGs-Übungen pro Trainingseinheit.** Granacher et al. (2012) empfehlen drei bis acht GGs-Übungen pro Trainingseinheit, während Lesinski et al. (2015b) vier GGs-Übungen pro Trainingseinheit empfehlen.

Je nach Übungsaufbau sind hier Empfehlungen nur schwer zu geben, da eine Aufbaureihe kleine Adaptionen beinhalten kann. Dadurch kann eine Vielzahl von GGs-Übungen entstehen

ohne die Probanden zu überfordern. Je nach Zeit und Lernniveau scheinen vier oder mehr Übungen durchaus sinnvoll.

**4.1.6 Anzahl Wiederholungen der GGs-Übungen.** Als einzige Autoren gaben Lesinski et al. (2015a) zwei Wiederholungen pro GGs-Übung als Empfehlung ab, um optimale Fortschritte zu erzielen.

Zwei Wiederholungen scheinen durchaus sinnvoll, wobei Aufbaureihen mit kleinen Adaptationen auch einmalige GGs-Übungen enthalten können. Bei mehr als zwei Wiederholungen ist darauf zu achten, dass die GGs-Übungen für die Probanden nicht monoton erscheinen. Wie bereits Sherrington et al. (2008) herausgefunden haben, sollte das GGT herausfordernd und variabel gestaltet sein.

**4.1.7 Dauer pro GGs-Übung.** Lesinski et al. (2015a) und Granacher et al. (2012) gaben jeweils eine Richtzeit von 20 bis 40s pro GGs-Übung an.

Da herausforderndes Üben die Konzentrationsfähigkeit beansprucht sollte die GGs-Übung die Probanden nicht länger als 40s beanspruchen. Kleine Pausen zwischen den Übungen erhöhen die Konzentration und fördern die Motivation.

**4.1.8 Trainingsprinzipien.** Nach Sherrington et al. (2008) ist das individuelle, herausfordernde und variable GGT entscheidend. Verschiedene Autoren pochen auf möglichst herausforderndes Training, bestenfalls individuell auf die Athleten oder Probanden abgestimmt (DiStefano et al., 2009; Lesinski et al., 2015b). Ist das GGT zu einfach, erfolgen keine signifikanten Trainingsanpassungen (DiStefano et al., 2009). Nach Forschungsergebnissen von Sherrington et al. (2011) befindet sich das optimale GGT im erholten Zustand bei einer moderaten bis hohen Intensität. Je nach Altersgruppe ist dieser Anspruch schwierig zu erreichen. Senioren bei hoher Intensität GG trainieren zu lassen, kann unter Umständen verletzungsgefährdend sein. Umgekehrt ist es schwierig mit trainierten jungen Erwachsenen eine hohe Intensität beim GGT zu erreichen. Deshalb ist eine mittlere Intensität beim GGT mit einer gemischten Probandengruppe empfehlenswert. Diverse Studien konnten beweisen, dass GGT nicht in allen Dimensionen (*medio-lateral* und *anterior-posterior*) gleichermassen wirkt (Benis, Bonato & La Torre, 2016; Holm et al., 2004; Pau, Loi & Pezzotta, 2012; Zech, Klahn, Hoeft, zu Eulenburg & Steib, 2014). GGT ist nur schwer von einer Bewegungsausführung auf andere zu transferieren, deshalb empfehlen Lesinski et al. (2015a) und Granacher et al. (2012) statisches und dynamisches sowie auch proaktives und reaktives GGT in jede Trainingsein-

heit zu integrieren. Die verschiedenen GGs-Arten sollten unabhängig voneinander trainiert werden (Granacher et al., 2012). Zudem fanden Lacroix et al. (2016) heraus, dass begleitetes Training im Gegensatz zum nicht beaufsichtigten Training mehr Erfolg im GG verspricht.

Tabelle 5

*Reduktion wichtigster Trainingsempfehlungen für optimale Fortschritte im Gleichgewicht*

Setting	Prinzipien	Empfehlungen
20 bis 40s/Übung	Variabel	Sensorische Inputs reduzieren
2 Serien/Übung	Herausfordernd	Statisch
3 bis 8 Übungen/Training	Kontinuierlich	Dynamisch
Mind. 10min/30min/Training <sup>a</sup>	Im erholten Zustand	Reaktiv
Mind. 120min/Woche	Individuell	Proaktiv
Mind. 50 h	Mittlere Intensität	Beaufsichtigt

*Anmerkungen.* Setting = Trainingsbedingungen, (American College of Sports et al., 2009; DiStefano et al., 2009; Granacher et al., 2012; Granacher et al., 2014; Lacroix et al., 2016; Lesinski et al., 2015b; Sherrington et al., 2008). <sup>a</sup>10min Gleichgewichtstraining ohne Aufwärmen und Auslaufen, 30min Gleichgewichtstraining inklusive Aufwärmen und Auslaufen.

Die Tabelle 5 fasst konkludierend die wichtigsten Trainingsempfehlungen und die Erkenntnisse der ausgewählten Reviews der Tabelle 2 zusammen. Im Anhang A gibt die Struktur-skizze eine Übersicht über Trainingsprinzipien und -empfehlungen sowie Zusammenhänge im GGT.

## 4.2 Aufbau und Inhalt der Übungslektionen

*Fragestellung 2:* Wie gestaltet sich ein systematischer Übungskatalog für GGTs aufgrund wissenschaftlicher Reviews für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren?

Eine exemplarische Unterrichtseinheit befindet sich im Anhang D und E. Der Übungskatalog wurde fortlaufend dem Niveau der Probanden angepasst und geplant. Die GGTs wurden progressiv nach dem Prinzip der ansteigenden Belastung aufgebaut. Nach Schnabel, Thieß und Baumann (1980) sollten die konditionellen und koordinativen Übungen systematisch gesteigert werden. Die rollende und adaptive Planung wurde fortlaufend durchgeführt, wodurch auf die individuellen Anpassungsfortschritte der Probanden eingegangen werden konnte. Die Qualität der Trainingseinheiten unter Berücksichtigung aktueller literarischen Empfehlung ist sicherlich hervorzuheben. Die GGTs fanden an zwei verschiedenen Standorten mit unterschiedlicher Ausstattung statt. Dies könnte die Planung und Durchführung des GGTs beeinflusst haben, da je nach Ausstattung und Teilnehmerzahl improvisiert werden musste. Die GGT wurden sorgfältig geplant und von zwei unterschiedlichen Instruktoren durchgeführt,

was zu unterschiedlichen Interpretationen der GGs-Übungen führen konnte. Ausserdem haben die zwei Instruktoren jeweils unterschiedliche Beziehungen zu den Probanden aufbauen können und dadurch womöglich die Motivation der Probanden beeinflusst. Der stetige und regelmässige Austausch der Instruktoren führte zur verbesserten Planung und Durchführung der GGTs. Weiter spielt die richtige Beanspruchungsfolge eine wichtige Rolle. GGT sollte immer im erholten Zustand ausgeführt werden (Sherrington et al., 2011). Sichergestellt wurde dies durch eine mittlere Intensität und ausreichend Pausen zwischen den einzelnen GGs-Übungen. Dieser Anspruch konnte nicht in allen GGs-Übungen sichergestellt werden, da eine mittlere Intensität für jeden Probanden individuell ist und nicht alle GGs-Übungen eine entsprechende Adaption der Intensität zulassen. Somit waren nicht alle Probanden in allen GGs-Übungen gleichermassen gefordert, was eine unterschiedliche Anpassung des GGs zur Folge haben konnte. Die fortlaufend veränderte Trainingsunterlage wurde immer instabiler und somit herausfordernder. Hierbei wurden die allgemeinen Trainingsprinzipien von Weineck (2004) und Granacher et al. (2013) beachtet. Unter anderem sagen diese, dass es trainingswirksame Reize braucht, um Fortschritte zu erzielen. Durch ein bis vier Variationen pro Übung, in denen die Probanden selbständig ihre Schwierigkeitsstufe anpassten, folgten die Übungen dem Prinzip der individualisierten Belastung. Die Probanden erhielten die Möglichkeit jede GGs-Übung zu erschweren oder zu vereinfachen. Durch die Adaptionfähigkeit und den vorhandenen Ressourcen konnte aufgrund erhöhter Teilnehmerzahl ein fünftes GGT angeboten werden. Dadurch konnte die Teilnehmerzahl pro Trainingseinheit verringert werden und die individuellen Probanden persönlicher unterstützt werden wie es Lesinski et al. (2015a) und Sherrington et al. (2008) empfehlen. Obwohl ein fünfter Trainingstermin angeboten wurde, war die zum Teil grosse und unterschiedliche Gruppenkonstellation hindernd für eine individuelle Probandenbetreuung. Durch ein differenziertes Trainingsangebot mit Niveaustufen hätten die Probanden noch besser betreut werden können. Dies war jedoch aufgrund des grosszügigen Angebots von vier möglichen GGT nicht möglich. Die Altersdurchmischung in den Trainingseinheiten führte zu einer konstruktiven und motivierenden Stimmung, was sich womöglich positiv auf den Lernfortschritt der einzelnen Probanden ausgewirkt haben könnte. Zudem waren die Übungen der GGTs so aufgebaut, dass jederzeit Neueinsteiger mitmachen konnten, da die Probanden das Interventionsprogramm gestaffelt starteten. Dadurch hatten nicht alle Probanden denselben Aufbau und somit nicht die gleiche Übungsabfolge, da immer wieder neue Probanden zum Interventionsprogramm dazu stiessen. Das Trainingssetting mit gestaffeltem Startzeitpunkt der Probanden und unterschiedlichen Niveaus machte das GGT zur Herausforderung. Aufgrund der unterschiedlichen Niveaus von zum Teil sehr guten GGs-

Ausführungen bis schwachen GGs-Fähigkeiten konnten nicht alle Probanden so gefördert werden wie es nötig gewesen wäre. Speziell Probanden mit gutem GG aber auch jene mit mässigen GGs-Fähigkeiten mussten sich manchmal an das Durchschnittsniveau der Gruppe anpassen. Die Bemühungen, alle vier GGs-Arten in die Trainings zu integrieren, deckt sich mit den Vorstellungen von Granacher et al. (2012) und Lesinski et al. (2015b). Beide Autoren empfehlen die Integration aller GGs-Übungen in die GGTs.

#### **4.3 Effekte des Gleichgewichtstrainings**

*Fragestellung 3:* Werden empirisch nachweisbare Effekte im GG mit dem erstellten Übungskatalog für gesunde junge Erwachsene und gesunde Senioren in zwei Monaten erzielt?

Das GGs-Interventionsprogramm konnte keine signifikanten Veränderungen hervorrufen. Zwar gab es drei signifikante *p*-Werte bei der ANOVA (Tabelle 3) jedoch konnte der *pairwise t-test* keine signifikanten Verbesserungen innerhalb der Interventions- oder Kontrollgruppe von jungen Erwachsenen oder Senioren hervorrufen. Die Abbildung 4 zeigt auf der *Kraftmessplatte Niveau 1* bei jungen Erwachsenen eine leicht positive Tendenz bei der Interventionsgruppe. Jedoch weist die Kontrollgruppe im Vergleich zur Interventionsgruppe eine höhere Tendenz aus (siehe auch Tabelle 4). Bei der Interventionsgruppe der Senioren ist sogar eine leicht negative Tendenz auszumachen. Bei allen GGs-Tests waren positive Tendenzen der Kontrollgruppen auszumachen. Dies deutet auf einen Lerneffekt von der pre- zur post-Messung hin. Vor allem bei den jungen Erwachsenen konnte einen Lerneffekt festgestellt werden. Trotz des nicht auszuschliessenden minimalen Lerneffekts, gelten Kraftmessplatte und Posturomed als sichere Messmethoden (Boeer, Mueller, Krauss, Haupt & Horstmann, 2010).

Der GGs-Test *Kraftmessplatte Niveau best* (Abbildung 5) stellt ähnliche Resultate wie der GGs-Test *Kraftmessplatte Niveau 1* dar. Auch hier ist eine Tendenz von jungen Erwachsenen der Kontrollgruppe positiv, während die Interventionsgruppe eine leicht negative Tendenz aufweist. Dies liegt möglicherweise daran, da die Überprüfung der Fortschritte des GGTs nach zwei Monaten Intervention erfolgte. Um optimale Effekte im GGT zu erzielen empfehlen Sherrington et al. (2008) jedoch mindestens 50 h Training. Die Interventionsdauer ist kurz, jedoch konnten Taube et al. (2010) bereits nach fünf Wochen Trainingsfortschritte feststellen. Die Autoren untersuchten Probanden auf dem Posturomed und auf der Kraftmessplatte im Ein- und Zweibeinstand mit und ohne Gesundheitskreisel. Verschiedene Studien (DiStefano et al., 2009; Keller et al., 2012; Muehlbauer, Kuehnen & Granacher, 2013) konnten bereits mit vier Wochen GGT positive Effekte verzeichnen. Demnach hätten auch mit der

vorliegenden Studie und zwei Monaten Intervention positive Effekte ersichtlich werden sollen.

Auf dem *Posturomed Niveau 1* (Abbildung 6) zeichnen beide, Kontroll- und Interventionsgruppe der jungen Erwachsenen, eine positive Tendenz ab. Wobei die Kontrollgruppe eine höhere Tendenz aufweist im Vergleich zur Interventionsgruppe. Bei den Senioren ist wiederum nur bei der Kontrollgruppe eine positive Tendenz ersichtlich, bei der Interventionsgruppe ist diese negativ. Die Probanden absolvierten GGs-Test mit unterschiedlichen Niveaus. Bereits Taube et al. (2010) postulierten den Zusammenhang zwischen der Schwierigkeit der GGs-Tests und dem GGs-Fortschritt. Die Probanden machten grössere Fortschritte bei anspruchsvolleren Testbedingungen. Die Autoren schliessen daraus, dass einfache Testbedingungen ungeeignet sind um GGs-Fortschritte zu erfassen. In der vorliegenden Studie wurden jedoch junge Erwachsene wie Senioren getestet. Begonnen wurde jeweils auf dem einfachsten Niveau. Trotzdem könnte für Senioren mit GGs-Defiziten das einfachste Niveau bereits eine Überforderung dargestellt haben, während für junge Erwachsene das einfachste Niveau eine Unterforderung sein könnte. Um jedoch die Fortschritte miteinander zu vergleichen mussten beide Probandengruppen die gleichen Tests absolvieren. Beim genaueren Betrachten der Daten ist eine positive Tendenz auf dem Posturomed mit der höchsten Schwierigkeitsstufe ersichtlich. Auf der höchsten Schwierigkeitsstufe der Kraftmessplatte wurden jedoch keine Verbesserungen der Interventionsgruppe ersichtlich. Auf der höchsten Schwierigkeitsstufe der GGs-Tests konnten sich die Probanden auf dem Posturomed und auf der Kraftmessplatte nicht einheitlich verbessern. Somit sind keine Muster erkennbar, welche Tendenzen über zu schwierige oder zu einfache GGs-Tests liefern.

Auf dem *Posturomed Niveau best* (Abbildung 7) deuten alle Probandengruppe eine positive Tendenz an. Jedoch sind auch hohe Standardabweichungen ersichtlich, was auf ein unterschiedliches Niveau der Probanden hindeutet. Bei den jungen Erwachsenen ist erstmals eine höhere Tendenz bei der Interventionsgruppe zu verzeichnen.

*Fragestellung 4:* Erzielen gesunde Senioren innerhalb der zweimonatigen Trainingsintervention grössere Fortschritte im Vergleich zu gesunden jungen Erwachsenen?

Keine der Probandengruppe erzielte signifikante Fortschritte. Jedoch ist der Tabelle 4 zu entnehmen, dass jüngere Erwachsene eine höhere Tendenz zum prozentualen Fortschritt durch GGT erzielten, als Senioren. Die Interventionsgruppe der jüngeren Erwachsenen zeigte eine positive Tendenz auf der Kraftmessplatte auf der niedrigsten Schwierigkeitsstufe und auf dem Posturomed auf der niedrigsten sowie auch auf der höchsten Schwierigkeitsstufe. Dies könnte ein Hinweis sein, dass junge Erwachsene verschiedene GGs-Arten besser transferieren. Un-



abhängig von einander bestätigten unterschiedliche Autoren, dass verschiedene GGs-Arten nur schwer transferieren lassen (Benis et al., 2016; Holm et al., 2004; Pau et al., 2012; Zech et al., 2014). Es könnte sein, dass diese unterschiedlich angesteuert werden. Statisches, dynamisches, reaktives oder proaktives GG könnte durch unterschiedliche neuromuskuläre Mechanismen angesteuert werden (Muehlbauer et al., 2013). GGT in einem Bereich muss demnach nicht zwingende Trainingsanpassungen in anderen GGs-Arten haben. Die Interventionsgruppe der Senioren erzielte lediglich auf dem Posturomed auf der höchsten Schwierigkeitsstufe eine positive prozentuale Tendenz. Die Interventionsgruppe verschlechterte sich stark in einigen GGs-Tests während sich die Kontrollgruppe wiederum stark verbesserte. Die Testbatterie dauerte zwischen 80 und 120 min, inklusive den Tests, welche nicht für die vorliegende Studie verwendet wurde. Trotz regelmässigen, häufigen Pausen und stetiges Nachfragen über ihr Wohlbefinden könnte die Konzentrationsfähigkeit der Probanden durch die lange Testreihe die Resultate beeinflusst haben. Die Testbatterie folgte einer standardisierten Abfolge und war somit für die pre- und post-Messungen und alle Probanden gleich. Jedoch könnte sich die Konzentrationsfähigkeit bei den Senioren stärker bemerkbar gemacht haben als bei den jungen Erwachsenen.

Unzählige Autoren (Lackner et al., 2001; Taube et al., 2010; Zuur et al., 2010) führten zur Überprüfung des GGs-Fortschrittes Tests mit der Kraftmessplatte und dem Posturomed durch. Trotzdem stellt sich die Frage, ob die GGs-Tests wirklich den Fortschritt des GGs überprüfen und wie genau sie sind. Die Kraftmessplatte misst alle Bewegungen und zeichnet diese auf. Die daraus entstehenden COP-Daten stellen einen Schwankweg dar, welcher ausgewertet wird. Ein langer Schwankweg bedeutet eine hohe Korrektur um den Körper im GG zu halten, einen kurzen Schwankweg bedeuten kleinere Korrekturen. Jedoch kann stetiges Korrigieren durch kleine Bewegungen genauso einen hohen Schwankweg verursachen. So können Probanden mit gutem GG unter Umständen genauso einen hohen Schwankweg durch kleine Korrekturen erhalten, dadurch könnte sich die Validität der GGs-Tests in Frage stellen. GGs-Test auf der Kraftmessplatte und auf dem Posturomed werden häufig angewendet und sind dementsprechend wissenschaftlich anerkannte GGs-Tests (Muller et al., 2004).

Die kleine Probandengruppe von je zehn Personen, könnte eine mögliche Erklärung für die nicht eindeutigen Resultate sein. Jedoch haben diverse Autoren der untersuchten Reviews (Brachman et al., 2017; DiStefano et al., 2009; Granacher et al., 2012; Lesinski et al., 2015a, 2015b; Sherrington et al., 2011) mit zum Teil ähnlicher Anzahl Probanden positive Effekte mit GGT erhoben.

#### **4.4 Ausblick**

Die Resultate der Gesamtstudie, in welcher die vorliegende Arbeit eingebettet ist, können mit Spannung erwartet werden. Durch eine grössere Anzahl Probanden können effektivere Resultate zum Vorschein kommen. Zudem werden durch eine längere Interventionsdauer positive Veränderungen im GG erwartet. Weitere GGs-Tests können Ausschluss über die kognitiven Veränderungen durch GGs-Training im Hirn geben. Dabei werden Verbesserungen im Dualtask erwartet. Durch Post-Tests nach dem GGT und weiteren Tests sechs Monate nach der Intervention könnten die Langzeiteffekte vom GGT sichtbar werden. Zukünftig sollten GGT jedoch niveaugerecht betreut werden, um die Probanden optimal zu fördern.

Weiter sollten Forschungen und Überprüfungen zu geeigneten GGs-Tests durchgeführt werden. DiStefano et al. (2009) forderten bereits bessere GGs-Tests, welche genauer beurteilt werden können.

Der Transfer von statischem, dynamischem, reaktivem und proaktivem GG ist noch ungenügend erforscht und sollte Gegenstand weiterer Studien darstellen.

Allgemein gültige Empfehlungen für GGT sind schwierig zu machen und verschiedene Autoren kamen zu unterschiedlichen Erkenntnissen (Brachman et al., 2017). Verschiedene Autoren und Reviews gaben Ausschluss über Trainingsempfehlungen und -setting wie zum Beispiel Dauer, Intensität, Aufbau oder Anzahl Lektionen (Brachman et al., 2017). Dennoch sollte weiter geforscht werden, um genauere Empfehlung geben zu können (Granacher et al., 2012). Es gibt keinen Goldstandard im GGT, welcher auf alle Sportarten übergreifend angewendet werden kann. Zukünftige Forschungen sollten das GGT als Forschungsgegenstand inkludieren. Leitlinien aus der Literatur helfen, um Trainingsprinzipien zu generieren wie z.B. die Best-Practice-Empfehlungen von Sherrington et al. (2011). Jedoch sind es qualitative Empfehlungen und keine evidenzbasierten Leitlinien. Demnach sind weitere Untersuchungen nötig, um präzisere Angaben zu Trainingsgrundsätzen und -prinzipien machen zu können.

## 5 Schlussfolgerung

Trainingsempfehlungen anhand systematischer Reviews für junge gesunde Erwachsene und gesunde Senioren im GG sind schwierig zu geben. Verschiedene Autoren kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die folgenden Erkenntnisse geben eine Übersicht:

Die GGs-Übungen sollten 20 bis 40s dauern und zweimal wiederholt werden. Drei bis acht GGs-Übungen ergeben ein GGT von 30min inklusive Aufwärmen und Auslaufen. Pro Woche sollte 120min möglichst regelmässig und kontinuierlich trainiert werden. Nach 50 h können GGs-Fortschritte ersichtlich werden. Das Training sollte herausfordernd, abwechslungsreich und individuell gestaltet sein sowie im erholten Zustand und bei mittlerer Intensität durchgeführt werden. Durch die Reduktion von sensorischen Inputs werden neue Reize gesetzt. Statisches, dynamisches, reaktives und proaktives GG sollte in jedes Training integriert werden. Bessere Fortschritte werden beim beaufsichtigten GGs-Training erzielt.

Der Aufbau der GGTs erfolgte fortlaufend dem Niveau der Probanden angepasst. Das GGT beinhaltete progressive GGs-Übungen mit systematischer Steigerung von konditionellen und koordinativen Übungen. Die Trainingsunterlage wurde immer instabiler und herausfordernder. Neueinsteiger konnten jederzeit zum GGT hinzustossen. Durch genügend Pausen wurde eine mittlere Intensität erreicht. Die Probanden konnten die GGs-Übungen jeder Zeit erschweren oder vereinfachen, indem sie zwischen ein und vier Variationen pro GGs-Übung auswählen konnten.

Zwei Probandengruppen, junge Erwachsene und Senioren wurden in Interventions- und Kontrollgruppen aufgeteilt. Getestet wurde mit jeweils vier verschiedenen Niveaus auf dem Posturomed und auf dem Gesundheitskreisel einer Kraftmessplatte. Nach zwei Monaten GGT konnten keine signifikanten Effekte im GG erzielt werden. Weder für gesunde junge Erwachsene noch für gesunde Senioren wurden eindeutige Tendenzen sichtbar. Die Kontrollgruppe erzielte des Öfteren positive Tendenzen im Vergleich zur Interventionsgruppe. Einen kleinen Lerneffekt zwischen pre- und post-Test ist nicht auszuschliessen. Um die GGs-Tests miteinander zu vergleichen, machten alle Probanden die gleichen Tests. Es wird vermutet, dass für Probanden mit gutem GG die einfachste Schwierigkeitsstufe der GGs-Test zu einfach war und deshalb keine signifikanten Resultate ersichtlich wurden. Obwohl unzählige Autoren Tests auf dem Posturomed auf der Kraftmessplatte durchführten, kann deren Validität in Frage gestellt werden. Zukünftige Interventionsprogramme sollten alternative GGs-Tests oder andere Testsettings beinhalten. Zudem lassen sich die verschiedenen GGs-Arten nur schwer transferieren. GGT unterschiedlicher GGs-Arten könnte von unterschiedlichen neuromuskulären

Mechanismen angesteuert werden, was nicht zwingende Trainingsanpassungen auf andere GGs-Arten haben muss. Die GGs-Tests sollten spezifischer auf das GGT ausgerichtet werden und die kurze Interventionsdauer von zwei Monaten sollte auf mindestens 50 h GGT ausgedehnt werden, um optimale Resultate zu erzielen.

Die vorliegende Arbeit ist Teil einer grösseren Interventionsstudie, welche eine längere Interventionsdauer mit mehreren Probanden und weiteren GGs-Tests untersucht. Der erstellte Übungskatalog bildet die Trainingsgrundlagen für GGTs und zukünftige Interventionsprogramme.

## Literatur

- American College of Sports, M., Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R., . . . Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(7), 1510-1530. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c
- Ayres, A. J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*: Western Psychological Services.
- Ayres, A. J. (2013). *Bausteine der kindlichen Entwicklung: die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes*: Springer-Verlag.
- Banaschewski, T., Besmens, F., Zieger, H., & Rothenberger, A. (2001). Evaluation of sensorimotor training in children with ADHD. *Percept Mot Skills*, 92(1), 137-149. doi:10.2466/pms.2001.92.1.137
- Bauby, C. E., & Kuo, A. D. (2000). Active control of lateral balance in human walking. *J Biomech*, 33(11), 1433-1440.
- Beinert, K., & Taube, W. (2013). The effect of balance training on cervical sensorimotor function and neck pain. *J Mot Behav*, 45(3), 271-278. doi:10.1080/00222895.2013.785928
- Benis, R., Bonato, M., & La Torre, A. (2016). Elite Female Basketball Players' Body-Weight Neuromuscular Training and Performance on the Y-Balance Test. *J Athl Train*, 51(9), 688-695. doi:10.4085/1062-6050-51.12.03
- Berliner, M. N. (2013). *Kompodium physikalische Medizin: orientiert am Gegenstandskatalog für die ärztliche Ausbildung AO (Ä)*: Springer-Verlag.
- Bernier, J. N., & Perrin, D. H. (1998). Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *J Orthop Sports Phys Ther*, 27(4), 264-275. doi:10.2519/jospt.1998.27.4.264
- Boer, J., Mueller, O., Krauss, I., Haupt, G., & Horstmann, T. (2010). [Reliability of a measurement technique to characterise standing properties and to quantify balance capabilities of healthy subjects on an unstable oscillatory platform (Posturomed)]. *Sportverletz Sportschaden*, 24(1), 40-45. doi:10.1055/s-0029-1245184
- Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Buchel, C., & May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *J Neurosci*, 28(28), 7031-7035. doi:10.1523/JNEUROSCI.0742-08.2008

- Brachman, A., Kamieniarz, A., Michalska, J., Pawlowski, M., Slomka, K. J., & Juras, G. (2017). Balance Training Programs in Athletes - a Systematic Review. *J Hum Kinet*, 58, 45-64. doi:10.1515/hukin-2017-0088
- Brodal, A. (1981). *Neurological anatomy in relation to clinical medicine*: Oxford University Press, New York.
- Bruhn, S., Kullmann, N., & Gollhofer, A. (2004). The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med*, 25(1), 56-60. doi:10.1055/s-2003-45228
- Buchanan, J. J., & Horak, F. B. (1999). Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. *J Neurophysiol*, 81(5), 2325-2339. doi:10.1152/jn.1999.81.5.2325
- Camicioli, R., Howieson, D., Lehman, S., & Kaye, J. (1997). Talking while walking: the effect of a dual task in aging and Alzheimer's disease. *Neurology*, 48(4), 955-958.
- Chong, R. K., Ambrose, A., Carzoli, J., Hardison, L., & Jacobson, B. (2001). Source of improvement in balance control after a training program for ankle proprioception. *Percept Mot Skills*, 92(1), 265-272. doi:10.2466/pms.2001.92.1.265
- DiStefano, L. J., Clark, M. A., & Padua, D. A. (2009). Evidence supporting balance training in healthy individuals: a systemic review. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2718-2731. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1f7c5
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312. doi:10.1038/427311a
- Duarte, M., & Zatsiorsky, V. M. (2002). Effects of body lean and visual information on the equilibrium maintenance during stance. *Exp Brain Res*, 146(1), 60-69. doi:10.1007/s00221-002-1154-1
- Fisher, A. G. (1991). Vestibular-proprioceptive processing and bilateral integration and sequencing deficits. *Sensory integration: Theory and practice*, 71-107.
- Fitzpatrick, R., & McCloskey, D. (1994). Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *The Journal of physiology*, 478(1), 173-186.
- Fredericks, C. (1996). Basic sensory mechanisms and the somatosensory system. *Pathophysiology of the motor systems: principles and clinical presentations*. Philadelphia: FA Davis, 78-106.

- Freeman, M. A., Dean, M. R., & Hanham, I. W. (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg Br*, 47(4), 678-685.
- Gageur, J. (2014). Gleichgewicht fördern: Die Turnhalle als Balancierparcours. *SportPraxis*, 11 + 12, 6 - 11.
- Gillespie, L. D., Robertson, M. C., Gillespie, W. J., Lamb, S. E., Gates, S., Cumming, R. G., & Rowe, B. H. (2009). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD007146. doi:10.1002/14651858.CD007146.pub2
- Gillespie, L. D., Robertson, M. C., Gillespie, W. J., Sherrington, C., Gates, S., Clemson, L. M., & Lamb, S. E. (2012). Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*(9), CD007146. doi:10.1002/14651858.CD007146.pub3
- Goble, D. J., Coxon, J. P., Van Impe, A., Geurts, M., Doumas, M., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2011). Brain activity during ankle proprioceptive stimulation predicts balance performance in young and older adults. *J Neurosci*, 31(45), 16344-16352. doi:10.1523/JNEUROSCI.4159-11.2011
- Granacher, U., Gollhofer, A., Hortobagyi, T., Kressig, R. W., & Muehlbauer, T. (2013). The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review. *Sports Med*, 43(7), 627-641. doi:10.1007/s40279-013-0041-1
- Granacher, U., Gollhofer, A., & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait Posture*, 24(4), 459-466. doi:10.1016/j.gaitpost.2005.12.007
- Granacher, U., Gruber, M., Strass, D., & Gollhofer, A. (2007). Auswirkungen von sensomotorischem Training im Alter auf die Maximal-und Explosivkraft. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58(12), 446-451.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., & Gruber, M. (2012). A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: impact for testing and training. *J Aging Res*, 2012, 708905. doi:10.1155/2012/708905
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Gschwind, Y. J., Pfenninger, B., & Kressig, R. W. (2014). Diagnostik und Training von Kraft und Gleichgewicht zur Sturzprävention im Alter. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 47(6), 513-526.
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Zahner, L., Gollhofer, A., & Kressig, R. W. (2011). Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and

- strength in older adults. *Sports Med*, 41(5), 377-400. doi:10.2165/11539920-000000000-00000
- Gruber, M., Bruhn, S., & Gollhofer, A. (2006). Specific adaptations of neuromuscular control and knee joint stiffness following sensorimotor training. *Int J Sports Med*, 27(8), 636-641. doi:10.1055/s-2005-872904
- Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*, 92(1-2), 98-105. doi:10.1007/s00421-004-1080-y
- Gruber, M., Gruber, S. B., 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. *J Strength Cond Res*, 21(1), 274-282. doi:10.1519/R-20085.1
- Guerraz, M., Thilo, K. V., Bronstein, A. M., & Gresty, M. A. (2001). Influence of action and expectation on visual control of posture. *Brain Res Cogn Brain Res*, 11(2), 259-266.
- Hafstrom, A., Fransson, P. A., Karlberg, M., Ledin, T., & Magnusson, M. (2002). Visual influence on postural control, with and without visual motion feedback. *Acta Otolaryngol*, 122(4), 392-397.
- Hegner, J. (2012). *Training fundiert erklärt*. Herzogenbuchsee: Ingold.
- Heitkamp, H. C., Horstmann, T., Mayer, F., Weller, J., & Dickhuth, H. H. (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *Int J Sports Med*, 22(4), 285-290. doi:10.1055/s-2001-13819
- Henriksson, M., Ledin, T., & Good, L. (2001). Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *Am J Sports Med*, 29(3), 359-366. doi:10.1177/03635465010290031801
- Hirtz, P., Hotz, A., & Ludwig, G. (2005). *Bewegungskompetenzen Gleichgewicht*. Schorndorf: Hofmann.
- Holm, I., Fosdahl, M. A., Friis, A., Risberg, M. A., Myklebust, G., & Steen, H. (2004). Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med*, 14(2), 88-94.
- Horak, F. B. (1987). Clinical measurement of postural control in adults. *Physical therapy*, 67(12), 1881-1885.
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*, 35 Suppl 2, ii7-ii11. doi:10.1093/ageing/afl077



- Hubscher, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hansel, F., Vogt, L., & Banzer, W. (2010). Neuromuscular training for sports injury prevention: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc*, 42(3), 413-421. doi:10.1249/MSS.0b013e3181b88d37
- Huppelsberg, J., & Walter, K. (2013). *Kurzlehrbuch Physiologie*: Georg Thieme Verlag.
- Jahn, K., Deutschlander, A., Stephan, T., Strupp, M., Wiesmann, M., & Brandt, T. (2004). Brain activation patterns during imagined stance and locomotion in functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage*, 22(4), 1722-1731. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.05.017
- Kannus, P., Sievanen, H., Palvanen, M., Jarvinen, T., & Parkkari, J. (2005). Prevention of falls and consequent injuries in elderly people. *Lancet*, 366(9500), 1885-1893. doi:10.1016/S0140-6736(05)67604-0
- Karinkanta, S., Heinonen, A., Sievanen, H., Uusi-Rasi, K., & Kannus, P. (2005). Factors predicting dynamic balance and quality of life in home-dwelling elderly women. *Gerontology*, 51(2), 116-121. doi:10.1159/000082196
- Kavounoudias, A., Roll, R., & Roll, J. P. (2001). Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol*, 532(Pt 3), 869-878.
- Keck, M. E., Pijnappels, M., Schubert, M., Colombo, G., Curt, A., & Dietz, V. (1998). Stumbling reactions in man: influence of corticospinal input. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Electromyography and Motor Control*, 109(3), 215-223.
- Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Müller, E., & Taube, W. (2012). Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22(4), 471-477.
- Kümmel, J., Kramer, A., Giboin, L. S., & Gruber, M. (2016). Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(9), 1261-1271. doi:10.1007/s40279-016-0515-z
- Lackner, J. R., Rabin, E., & DiZio, P. (2001). Stabilization of posture by precision touch of the index finger with rigid and flexible filaments. *Exp Brain Res*, 139(4), 454-464.
- Lacroix, A., Kressig, R. W., Muehlbauer, T., Gschwind, Y. J., Pfenninger, B., Bruegger, O., & Granacher, U. (2016). Effects of a Supervised versus an Unsupervised Combined Balance and Strength Training Program on Balance and Muscle Power in Healthy Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Gerontology*, 62(3), 275-288. doi:10.1159/000442087

- Latash, M. L. (2008). Evolution of Motor Control: From Reflexes and Motor Programs to the Equilibrium-Point Hypothesis. *J Hum Kinet*, 19(19), 3-24. doi:10.2478/v10078-008-0001-2
- Latham, N., Anderson, C., Bennett, D., & Stretton, C. (2003). Progressive resistance strength training for physical disability in older people. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD002759. doi:10.1002/14651858.CD002759
- Lauber, B., Keller, M., Gollhofer, A., Muller, E., & Taube, W. (2011). Spinal reflex plasticity in response to alpine skiing in the elderly. *Scand J Med Sci Sports*, 21 Suppl 1, 62-68. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01343.x
- Lavoie, B. A., Cody, F. W., & Capaday, C. (1995). Cortical control of human soleus muscle during volitional and postural activities studied using focal magnetic stimulation. *Exp Brain Res*, 103(1), 97-107.
- Ledebt, A., Becher, J., Kapper, J., Rozendaal, R. M., Bakker, R., Leenders, I. C., & Savelsbergh, G. J. (2005). Balance training with visual feedback in children with hemiplegic cerebral palsy: effect on stance and gait. *Motor Control*, 9(4), 459-468.
- Lephart, S. M., Riemann, B., & Fu, F. (2000). Introduction to the sensorimotor system.
- Lesinski, M., Hortobagyi, 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 Med*, 45(4), 557-576. doi:10.1007/s40279-014-0284-5
- Lesinski, M., Hortobagyi, 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 Med*, 45(12), 1721-1738. doi:10.1007/s40279-015-0375-y
- Liu, C. J., & Latham, N. K. (2009). Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev*(3), CD002759. doi:10.1002/14651858.CD002759.pub2
- McCloskey, D. I. (1988). Kinesthesia, kinesthetic perception. In *Sensory Systems: II* (pp. 36-38): Springer.
- McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (1996). Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 51(6), M289-296.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre-Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*: Meyer & Meyer Verlag.

- Mergner, T., Schweigart, G., Maurer, C., & Blumle, A. (2005). Human postural responses to motion of real and virtual visual environments under different support base conditions. *Exp Brain Res*, 167(4), 535-556. doi:10.1007/s00221-005-0065-3
- Meyer, P. F., Oddsson, L. I., & De Luca, C. J. (2004). The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Exp Brain Res*, 156(4), 505-512. doi:10.1007/s00221-003-1804-y
- Muehlbauer, T., Kuehnen, M., & Granacher, U. (2013). Inline skating for balance and strength promotion in children during physical education. *Percept Mot Skills*, 117(3), 665-681. doi:10.2466/30.06.PMS.117x29z9
- Muller, O., Gunther, 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]. *Biomed Tech (Berl)*, 49(3), 56-60. doi:10.1515/BMT.2004.011
- Mülly, K. (1933). *Vom Gleichgewicht beim Skifahren*. Zürich: Aschmann und Scheller.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O. E., & Bahr, R. (2007). Prevention of noncontact anterior cruciate ligament injuries in elite and adolescent female team handball athletes. *Instr Course Lect*, 56, 407-418.
- Nashner, L. M. (1976). Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res*, 26(1), 59-72.
- Nashner, L. M., Shupert, C. L., Horak, F. B., & Black, F. O. (1989). Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog Brain Res*, 80, 411-418; discussion 395-417.
- Nugent, P. M. S. (2013). Psychology dictionary. *Balance Training*. Retrieved from <https://psychologydictionary.org/balance-training/>
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 330(7489), 449. doi:10.1136/bmj.38330.632801.8F
- Ouchi, Y., Okada, H., Yoshikawa, E., Nobezawa, S., & Futatsubashi, M. (1999). Brain activation during maintenance of standing postures in humans. *Brain*, 122 ( Pt 2), 329-338.
- Paterno, M. V., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*, 34(6), 305-316. doi:10.2519/jospt.2004.34.6.305

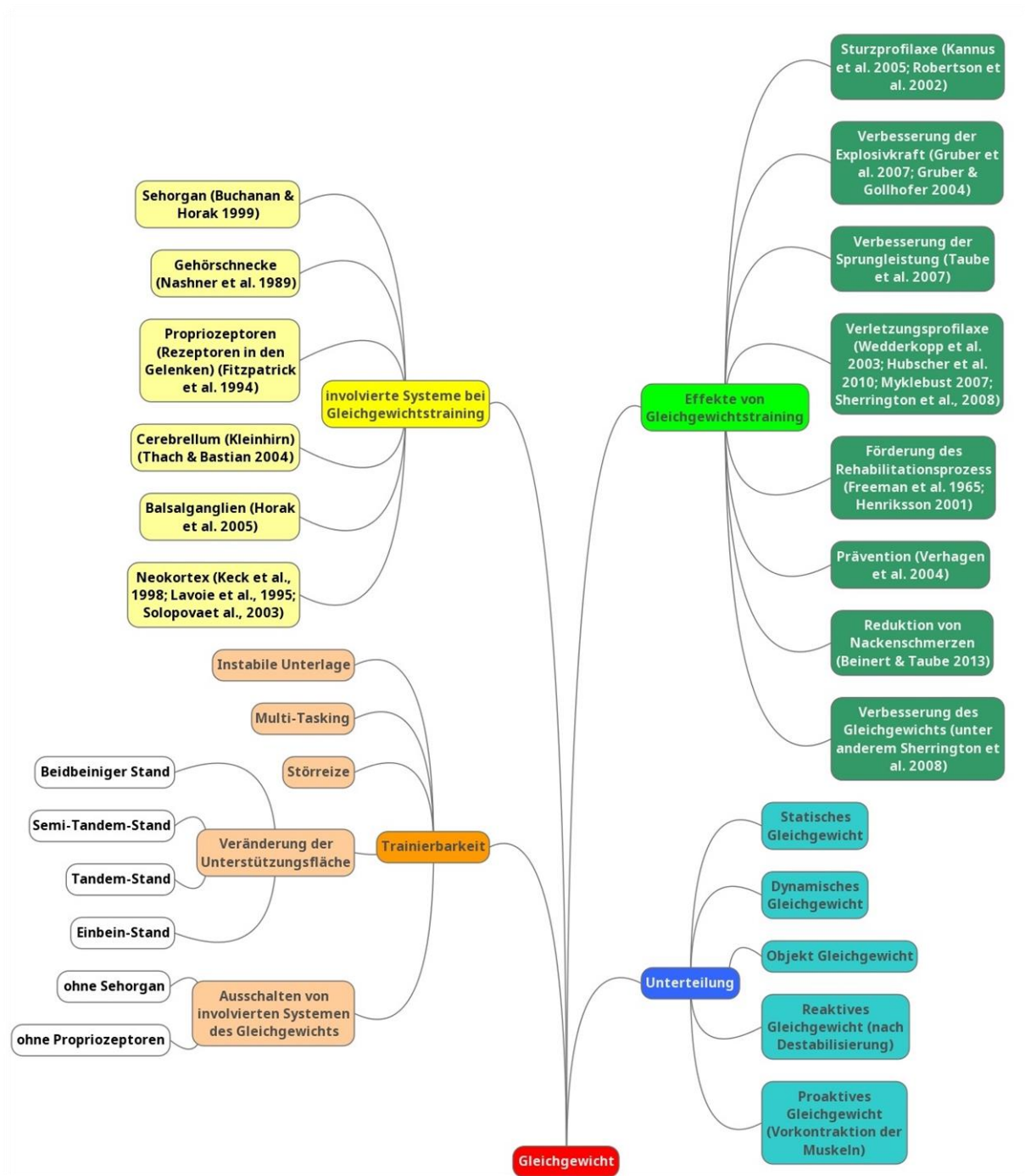
- Pau, M., Loi, A., & Pezzotta, M. C. (2012). Does sensorimotor training improve the static balance of young volleyball players? *Sports Biomech*, 11(1), 97-107. doi:10.1080/14763141.2011.637126
- Pearson, K., & Gordon, J. (2000). Principles of neural science. *Chapter "Spinal reflexes*, 714-737.
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*, 88(3), 1097-1118. doi:10.1152/jn.2002.88.3.1097
- Pfusterschmied, J., Stoggl, T., Buchecker, M., Lindinger, S., Wagner, H., & Muller, E. (2013). Effects of 4-week slackline training on lower limb joint motion and muscle activation. *J Sci Med Sport*, 16(6), 562-566. doi:10.1016/j.jsams.2012.12.006
- Robertson, M. C., Campbell, A. J., Gardner, M. M., & Devlin, N. (2002). Preventing injuries in older people by preventing falls: a meta-analysis of individual-level data. *J Am Geriatr Soc*, 50(5), 905-911.
- Rogers, M. E., Page, P., & Takeshima, N. (2013). Balance training for the older athlete. *Int J Sports Phys Ther*, 8(4), 517-530.
- Röthig, P., Prohl, R., Carl, K., Kayser, D., Krüger, M., & Scheid, V. (2003). *Sportwissenschaftliches Lexikon*. Schorndorf: Hofmann.
- Schmidt, R. (1985). Somato-viscerale Sensibilität: Hautsinne, Tiefensensibilität, Schmerz. In *Physiologie des Menschen* (pp. 229-255): Springer.
- Schnabel, G. (1973). Die koordinativen Fähigkeiten und das Problem der Gewandtheit. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 22(3), 263-269.
- Schnabel, G., Thieß, G., & Baumann, R. (1980). *Training von AZ. Kleines Wörterbuch für die Theorie und Praxis des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nat Neurosci*, 12(11), 1370-1371. doi:10.1038/nn.2412
- Sherrington, C., Tiedemann, A., Fairhall, N., Close, J. C., & Lord, S. R. (2011). Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. *N S W Public Health Bull*, 22(3-4), 78-83. doi:10.1071/NB10056
- Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G., & Close, J. C. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*, 56(12), 2234-2243. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.02014.x

- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). *Motor control: translating research into clinical practice*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Silbernagl, S. (2012). *Taschenatlas Physiologie*: Georg Thieme Verlag.
- Smith-Roley, S., Blanche, E. I., & Schaaf, R. C. (2004). Sensorische Integration. Grundlage und Therapie bei Entwicklungsstörungen. In: Berlin: Springer.
- Söderman, K., Werner, S., Pietilä, T., Engström, B., & Alfredson, H. (2000). Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 8(6), 356-363.
- Solopova, I. A., Kazennikov, O. V., Deniskina, N. B., Levik, Y. S., & Ivanenko, Y. P. (2003). Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans. *Neurosci Lett*, 337(1), 25-28.
- Taube, W. (2013). Neuronale Mechanismen der posturalen Kontrolle und der Einfluss von Gleichgewichtstraining. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 14(2), 55-63.
- Taube, W., Bracht, D., Besemer, C., & Gollhofer, A. (2010). Einfluss eines Inline-Trainings auf die Gleichgewichtsfähigkeit älterer Personen. *German Journal of Sports Medicine*, 61(2).
- Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A., & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiologica*, 189(4), 347-358.
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., & Gollhofer, A. (2007b). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med*, 28(12), 999-1005. doi:10.1055/s-2007-964996
- Taube, W., Leukel, C., & Gollhofer, A. (2008). Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. *Exp Brain Res*, 188(3), 353-361. doi:10.1007/s00221-008-1370-4
- Taube, W., Schubert, M., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., & Gollhofer, A. (2006). Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *J Appl Physiol (1985)*, 101(2), 420-429. doi:10.1152/jappphysiol.01447.2005
- Taubert, M., Draganski, B., Anwander, A., Müller, K., Horstmann, A., Villringer, A., & Ragert, P. (2010). Dynamic properties of human brain structure: learning-related changes in cortical areas and associated fiber connections. *J Neurosci*, 30(35), 11670-11677. doi:10.1523/JNEUROSCI.2567-10.2010

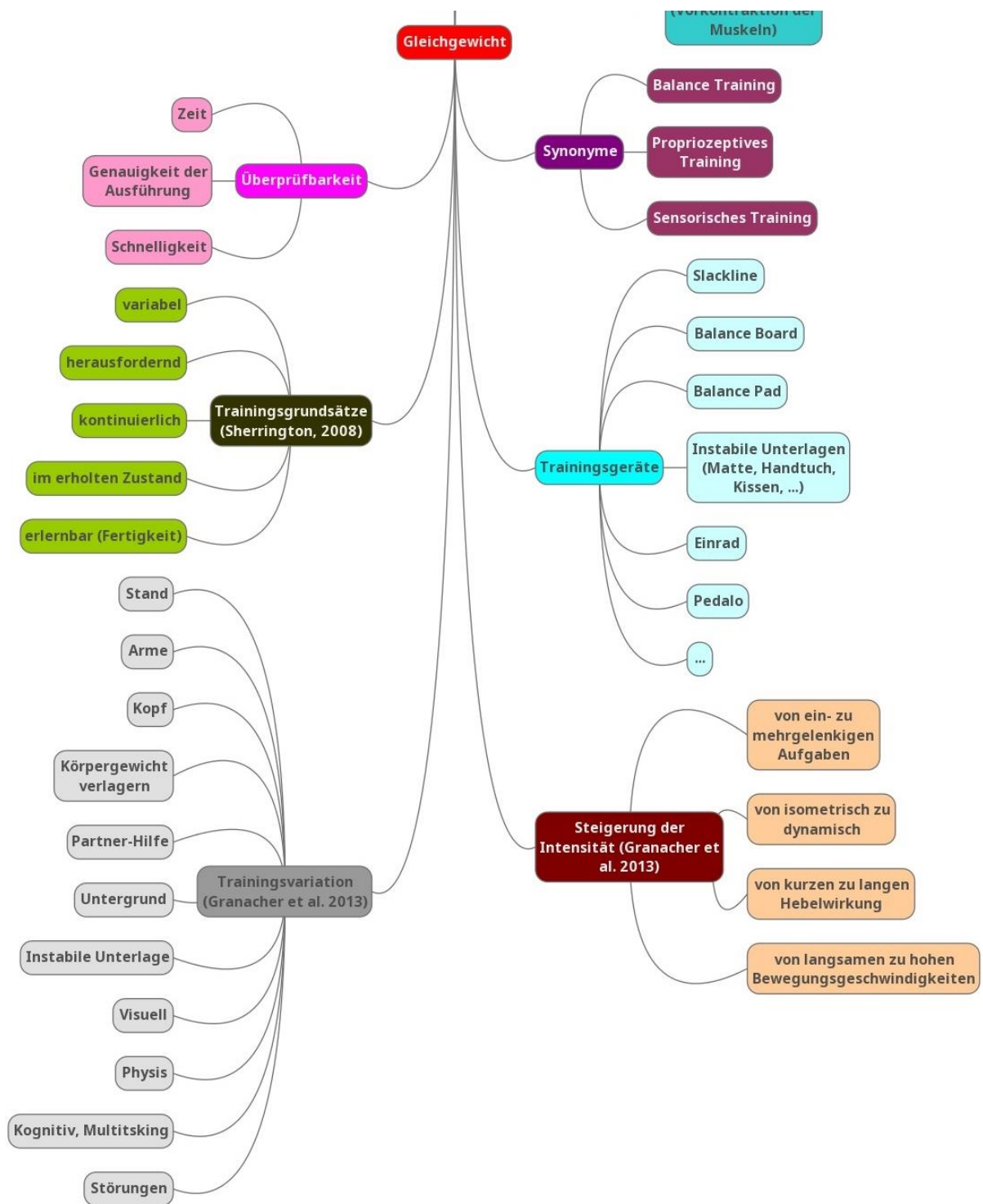
- Teasdale, N., & Simoneau, M. (2001). Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture*, 14(3), 203-210.
- Tokuno, C. D., Taube, W., & Cresswell, A. G. (2009). An enhanced level of motor cortical excitability during the control of human standing. *Acta Physiol (Oxf)*, 195(3), 385-395. doi:10.1111/j.1748-1716.2008.01898.x
- Trimble, M. H., & Koceja, D. M. (2001). Effect of a reduced base of support in standing and balance training on the soleus H-reflex. *Int J Neurosci*, 106(1-2), 1-20.
- Tropp, H., Askling, C., & Gillquist, J. (1985). Prevention of ankle sprains. *Am J Sports Med*, 13(4), 259-262. doi:10.1177/036354658501300408
- 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. *Am J Sports Med*, 32(6), 1385-1393. doi:10.1177/0363546503262177
- Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Holm, R., & Froberg, K. (2003). Comparison of two intervention programmes in young female players in European handball--with and without ankle disc. *Scand J Med Sci Sports*, 13(6), 371-375.
- Wedderkopp, N., Kaltoft, M., Lundgaard, B., Rosendahl, M., & Froberg, K. (1999). Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. *Scand J Med Sci Sports*, 9(1), 41-47.
- Weineck, J. (2004). *Optimales training: Leistungsphysiologische trainingslehre unter besonderer berücksichtigung des kinder-und jugendtrainings*: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Winter, D. A., MacKinnon, C. D., Ruder, G. K., & Wieman, C. (1993). An integrated EMG/biomechanical model of upper body balance and posture during human gait. *Prog Brain Res*, 97, 359-367.
- Wulker, N., & Rudert, M. (1999). [Lateral ankle ligament rupture. When is surgical management indicated and when conservative therapy preferred?]. *Orthopade*, 28(6), 476-482.
- Zech, A., Klahn, P., Hoeft, J., zu Eulenburg, C., & Steib, S. (2014). Time course and dimensions of postural control changes following neuromuscular training in youth field hockey athletes. *Eur J Appl Physiol*, 114(2), 395-403. doi:10.1007/s00421-013-2786-5

Zuur, A. T., Lundbye-Jensen, J., Leukel, C., Taube, W., Grey, M. J., Gollhofer, A., . . .  
Gruber, M. (2010). Contribution of afferent feedback and descending drive to human  
hopping. *J Physiol*, 588(Pt 5), 799-807. doi:10.1113/jphysiol.2009.182709

## Anhang A; Gleichgewicht-Mindmap







## Anhang B; Variation im Gleichgewichtstraining

Variationen	<b>Instabile Unterlage</b>						
	Matte (Yoga-Matte, dünne Matte, 16er-Matte)	Zusammengerolltes Handtuch	Kissen	Sitzkissen, Ballkissen	Ball	Balance-Board	
	<b>Störungen</b>						
	Ohne externe Störungen	Ablenken	Berühren	Stupsen	stossen		
	<b>Partner-Hilfe</b>						
	Arme halten	Leicht halten (z.B. nur Finger)	An einem Seil halten	Ohne Partner-Hilfe			
	<b>Untergrund</b>						
	Gutes Schuhwerk	Lose Schuhe	Socken	Barfuss			
	<b>Visuell</b>						
	Augen offen, Punkt fixieren	Ein Auge zu halten, l. & r. abwechselnd	Beide Augen zu	Modifizierte Brille (3D-Brille, Skibrille)			
	<b>Physis</b>						
	Ausgeruht	Lokale Ermüdung	Herz-Kreislauf-Ermüdung				
	<b>Kognitiv, Multitasking</b>						
	Alphabet aufsagen, Von 100 in 3er-Schritten rückwärts rechnen, Geschichte weiter erzählen, 7 Gegenstände merken, Telefonnummer merken, Ball passen, prellen, Jonglieren, Zeichen memorisieren, Zahl memorisieren, Mit den Armen Namen in die Luft schreiben						
	<b>Arme</b>						
	Frei beweglich	Verschränkt vor der Brust	Verschränkt hinter dem Rücken				
	<b>Kopf</b>						
	Frei beweglich	Zur Seite geneigt	Nach Hinten geneigt				
	<b>Körpergewicht verlagern</b>						
	Zur Seite l. & r.	Nach Vorne und Hinten					
	<b>Stand</b>						
	Breitbeinig	Schmaler Stand	Knöchel berühren sich	Semitandem-Stand	Tandem-Stand	Einbein-Stand	Einbein-Stand auf Zehen
Vom Einfachen zum Schwierigen							

## Anhang C; Messprotokoll

### LAB protocol

VP-Nr	<input type="text"/>	Group	<input type="text" value="INT"/> <input type="text" value="CON"/>	Session	<input type="text" value="PRE"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="RET"/>
Date	<input type="text"/>	Time	<input type="text" value=":"/>	Age	<input type="text"/>

### Vicon calibration

Calibrate VICON system (static and dynamic)  
 Static = with L frame  
 Dynamic = move until 100

☐ check

### Electromyography

	TA	SOL	GM	TEST (ref)
EMG	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Channel	2	3	5	6

check

⚠ Check EMG signal in each muscle!

### Behavioral Posturomed

⚠ record Postu with VICON  
 Send trigger manually (IMAGO)  
 file name IMAGO (EMG): bal\_sXX\_XX\_postu\_XX

⚠ calibrate force plate

1. Two legs EO (Behav\_1.set, #1)

2. Two legs EC (#2)

3. One leg EO (#3)

4. One leg EC (#4)

	30 s # of errors	30 s # of errors
1. Two legs EO (Behav_1.set, #1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2. Two legs EC (#2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3. One leg EO (#3)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4. One leg EC (#4)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

⚠ Send trigger manually (IMAGO)  
 ⚠ file name IMAGO (force): bal\_sXX\_XX\_spintop\_XX  
 ⚠ calibrate force plate

### Spin top

	30 s # of errors	30 s # of errors
Level 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Level 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Level 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Level 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>

control for between the two errors

### MVC

file name IMAGO (EMG): bal\_sXX\_XX\_MVC\_XX

MVC SOL   check

MVC GM   check

MVC TA   check

### Spin top and n-Back

Define level n-back with power point files!

begin with level defined during familiarization and see if OK (or adapt)

⚠ Control and report errors!

	2 s	1.5 s	1 s
2-back	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3-back	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1

2

Level

⚠ Send trigger manually (IMAGO)  
 file name: bal\_sXX\_XX\_spin\_nback\_XX

Best level spin top and n-back ⚠ calibrate force plate

1 min/trial

	Serie 1	2
ST n-back (SpinNback_1.set) #1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ST bal (SpinNback_2.set) #2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
DT (SpinNback_3.set) #3	<input type="text"/>	<input type="text"/>

control from numbers of error

fNIRS

Ø  cm

Install cap

Q. check

check

fNIRS AO+MI (export = HOMER)

file name (NIRS): bal\_sXX\_XX\_nirs\_aomi\_XX  
Record: NIRS signal (only) and run Eprime scriptRun Eprime  
script

check

fNIRS and balancing

Level 1 (spin top red) file name: bal\_sXX\_XX\_nirs\_bal\_XX\_1

Run Eprime  
script

check

- ⚠ Send trigger manually F1 (IMAGO)!
- ⚠ Connect trigger cable!

Triggers

# 1 = stand

# 2 = balance holding

# 3 = balance no holding

Triggers	Check triggers!			
	Serie #			
	1	2	3	4
1				
2				
3				

1 2

Best level (2) file name: bal\_sXX\_XX\_nirs\_bal\_XX\_2

Run Eprime  
script

check

Triggers	Check triggers!			
	Serie #			
	1	2	3	4
1				
2				
3				

fNIRS and DT

Best level n-back and best level balance

- ⚠ Send trigger manually F1 (IMAGO)!

file name: bal\_sXX\_XX\_nirs\_dt\_XX

Triggers

# 1 = Base line 0-back

# 2 = ST n-back

# 3 = Balance 0-back

# 4 = DT

Triggers	Check triggers!			
	Serie #			
	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				

# of errors (n-back)

ST n-back DT n-back

Round 1

Round 2

Round 3

Round 4

TMS

Transcranial magnetic stimulation

SICI and balancing

file name: bal\_sXX\_XX\_tms\_bal\_XX

Record:  
EMG (MEPs)  
Force plate

- ⚠ Stimulator program: V (70 - 120%)  
Program V = (recall) / timing / protocol / start  
Intensity: check with 'SICI Stimulator settings.xlsx'  
on desktop

- ⚠ Load stimuli file!  
append IMAGO file

Triggers

# 1 - 2 : stand (SICI\_level1.set)

# 3 - 4 : level 1 (SICI\_level2.set)

# 5 - 6 : best level - 1 (SICI\_level3.set)

Find hotspot and rMT (TMS\_hotspot.set)

⚠ TA is the target muscle

MT stand  % 0.7 =  %MT level 1  % 0.7 =  %MT best  % 0.7 =  %

Conditions

# 1 - 2 : stand

# 3 - 4 : red

# 5 - 6 : best

Serie	1	2	pp MEP (TA)		sp MEP (TA)	
# 1 - 2 : stand						
# 3 - 4 : red						
# 5 - 6 : best						

## Anhang D; exemplarische Unterrichtsvorbereitung

<b>Student/in: Daniel Ammann</b>		<b>Semester:</b>
Klasse / Lehrjahr: Probanden	Schule / Ort: Fribourg	Übungslektion: 45 min
Anzahl Lernende: ungewiss	Datum / Zeit: KW 19	Prüfungslektion: <input type="checkbox"/>

### Thema

### Lehrziele / Teilziele

**GG-Koordination**  
**Stationentraining**

### Bedingungsanalyse

- **Bedingungsanalyse:** 65 jährige, unterschiedliches Niveau, 3 – 4 Jugendliche
- **Didaktische Analyse:** jeden in seinem Niveau üben lassen. Vordern aber nicht überfordern

### Material

Siehe Beiblatt

Didaktische Überlegungen	Lehr- und Lerntätigkeiten / Lernverfahren	Organisationsform / Skizze	Zeit
<b>Aufbau</b>	<b>Stationentraining</b> Gemeinsames Aufstellen von Stationen		5'
<b>Einwärmen</b>	<b>Mobilisation</b> Mobilisation der grossen Gelenke von unten nach oben her, dabei gleich auch GG-Übungen miteinbauen (auf einem Bein stehen, ...)	Im Plenum	5'
<b>Hauptteil</b>	<b>Stationen siehe Beiblatt</b> Pd können auswählen es müssen nicht alle Posten gemacht werden.	4'/Posten	4'
	<b>Fussmassage</b> Eigenmassage der Füsse mit dem Tennisball Auf Wunsch, kann es auf den ganzen Körper ausgedehnt werden	Tennisball	4'
<b>Ausdehnen</b>	<b>Alle Körperteile dehnen</b>	Im Plenum	5'
<b>Abkürzungen</b> iU: Instabiler Unterlage E: Erschwerung V: Variation Ve: Vereinfachung GG: Gleichgewicht l.: links	r.: rechts Pd: Probanden kl. : klein gr. : gross Gr.: Gruppe LP: Lehrperson		

## Posten 1: Balance-Board



Balanciere so lange wie möglich auf dem Balance-Board ohne das Gleichgewicht zu verlieren.

Zu einfach? Stelle dich anstatt quer zur Längsrichtung auf das Balance-Board.

V1: Verändere die Standfläche. Steh mal näher mal weiter auseinander.

V2: Jongliere gleichzeitig auf dem Balance-Board

Tipp: Fokussiere einen Fixpunkt in der Ferne.

## Posten 2: Schwedenkasten surfen



Versuche auf dem Oberteil des Schwedenkasten zu balancieren. Erinnere dich dabei an deine letzten Surfferien.

Wechsle deine Orientierung und stell dich quer auf Schwedenkasten hin.

V1: Probier die Balance auf dem zweiten Schwedenkasten mit den Basketbällen darunter zu halten (schwieriger).



## Posten 3: Slackline



Balancier über die Slackline und wieder zurück.

V1: geh retour über die Slackline

V2: mach eine 360°-Drehung in der Mitte

V3: Sei kreativ! Nimm verschiedene Positionen ein und halte diese für 3 Sekunden

Tipp: Je stärker die Slackline gespannt ist desto einfacher!

Tipp Nr.2: Fokussiere einen Punkt in der Ferne ohne auf die Slackline zu sehen.

## Posten 4: Reck balancieren



Balanciere über das Reck.

V1: Gehe retour darüber

V2: Probier eine Drehung in der Mitte

## Posten 5: Kopfstand/Handstand






1. Kopfstand an Wand üben
  2. Sirsasana (Yogischer Kopfstand)
  3. Handstand an Wand
- V1: Kannst du's auch ohne Wand?

## Posten 6: Yoga-Meister

Probiere alle Yogaübungen aus und halte die Figur mindestens 3 Sekunden.

Schaffst du alle?

	
Kräh <span>­</span> e (Bakasana)	Herabschauender Hund
	
Krieger 3 (Virabhadrasana 3)	Baum (Vrksasana)
	
Schulterstand (Sarvangasana)	Adler (Garudasana)
	
Halbmond (Ardha Chandrasana)	Seitliche Planke (Vasisthasana)

## Posten 7: Pedalo



Drehe eine Runde auf dem Pedalo.

Ziehe dabei ein Pullover an und wieder aus ohne an Tempo zu verlieren und ohne zu Stürzen.

Tipp: Fokussiere einen Fixpunkt in der Ferne.

## Posten 8: Einrad fahren



Erlerne Einrad fahren indem du dich anfangs noch an den Schwedenkasten abstützt.

Einrad fahren kannst du schon?

Zeig uns Tricks auf dem Einrad. Kannst du schon stehen bleiben ohne zu Stürzen? Oder springen?

Tipp: Tempo ist dein Freund.

Tipp Nr.2: Sei geduldig.

## Posten 9: der lustige Clown



Balanciere auf dem Basketball ohne zu Stürzen.

Einfacher: Stütze dich an der Wand ab.

Schwieriger:

V1: Passe dir selbst den zweiten Basketball via Wand zu.

V2: Presse den zweiten Basketball.

V3: Jongliere mit Tücher.

## Posten 10: Skispringen



Rutsche die Langbänke herunter. Gehe dabei in eine stabile Skispringerposition.

V1: Probiere verschiedene Variationen aus (stehend, seitlich rutschend)

! Safty first! Taste dich langsam heran.

Versichere dich, dass die Matten genügend nahe an den Langbänken sind.



## **Dank**

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Masterstudiums der Universität Fribourg und der Eidgenössischen Hochschule für Sport in Magglingen (EHSM) verfasst.

An dieser Stelle danke ich allen Personen, die mich bei der Realisierung der vorliegenden Arbeit unterstützt haben. Meinen Betreuern Yves-Alain Kuhn und Sven Egger, meinem Referenten Wolfgang Taube und allen Gegenleserinnen und Gegenlesern danke ich für die wertvolle Unterstützung.

Ein spezieller Dank geht an die Familie Perl und an meine Eltern, welche mich während dem Studium stets begleitet und unterstützt haben.

Zuletzt danke ich allen Probanden, welche mit grosser Motivation bei allen Tests und Trainings dabei waren.