

# **Komplexe Gleichgewichtslernaufgabe scheint anfällig für Interferenz durch einfache motorische Lernaufgaben**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Nathanael Schärer**

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  
Sven Egger  
Dr. Michael Wälchli

Fribourg, Mai 2019

## **Inhaltsverzeichnis**

Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung.....	4
1.1 Einführung in die Thematik.....	4
1.2 Hintergrund und Ausgangslage.....	4
1.3 Ziel und konkrete Fragestellungen.....	16
2 Methode .....	18
2.1 Untersuchungsgruppe .....	18
2.2 Untersuchungsdesign .....	18
2.3 Untersuchungsinstrumente.....	25
2.4 Datenanalyse .....	25
3 Resultate.....	27
4 Diskussion.....	29
4.1 Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben .....	29
4.2 Lernfortschritte Task A und Task B .....	30
4.3 Stärken und Schwächen der Studie.....	31
4.4 Ausblick .....	32
5 Schlussfolgerung.....	34
Literatur.....	35
Anhang.....	38
Dank.....	45

## **Zusammenfassung**

**Einleitung:** Bisherige Studien konnten Interferenz beim einfachen, isolierten motorischen Lernen nachweisen. Die Aufgaben, welche Interferenz hervorriefen, waren allesamt Lernaufgaben, welche mit den gleichen Muskeln und in die gleiche Bewegungsrichtung ausgeführt wurden. Zudem musste die Zeit zwischen den beiden Aufgaben weniger als vier Stunden betragen. Das Ziel dieser Untersuchung war, herauszufinden, ob ganzheitliche, komplexe Gleichgewichtslernaufgaben unter den erwähnten Umständen ebenfalls anfällig für Interferenz sind.

**Methode:** 40 junge Erwachsene dienten als Probanden, welche in zwei gleich grosse Gruppen eingeteilt wurden, die Accuracy-Task (AT) Gruppe und die Ballistic Force-Task (FT) Gruppe. AT beinhaltete eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe, FT eine explosive Kraftaufgabe. Das in Interferenzstudien übliche Design (A-B-A) wurde eingesetzt. Task A stellte eine Gleichgewichtslernaufgabe auf der Wippe dar. Task B war eine einfache motorische Lernaufgabe, welche mit dem rechten Fuss ausgeführt wurde und für die beiden Gruppen unterschiedlich war. Alle Probanden absolvierten sechs Serien à acht Versuche (Task A-Pre) und sechs Serien à acht Versuche (Task B). Nach 24 Stunden Konsolidierungszeit wurden noch einmal drei Serien à acht Versuche (Task A-Post) absolviert. Varianzanalysen mit Messwiederholungen wurden angewendet, um allfällige signifikante Effekte für die Faktoren Zeitpunkt, Gruppe und Zeitpunkt\*Gruppe festzustellen.

**Resultate:** Es konnten signifikante Unterschiede zwischen der letzten Serie von Task A-Pre und der ersten Serie von Task A-Post bei beiden Gruppen festgestellt werden. Zudem wurden signifikante Unterschiede innerhalb jeder Lernphase (Task A-Pre, Task B und Task A-Post) nachgewiesen.

**Diskussion:** Die Resultate zeigen, dass zwischen Task A-Pre und Task A-Post keine vollständige Konsolidierung des Gelernten geschieht. Komplexe Gleichgewichtslernaufgaben scheinen also anfällig für Interferenz durch einfache motorische Lernaufgaben. Es darf sowohl bei Task A wie auch bei beiden Task B von Lernaufgaben gesprochen werden, weil die Resultate eindeutige Lernfortschritte innerhalb der Lernphasen bestätigen. Um die Ergebnisse zu bestätigen, sind weitere Studien mit einer Kontrollgruppe oder anderen Interferenzaufgaben notwendig.

**Konklusion:** Sofern die Erkenntnisse durch andere Untersuchungen bestätigt werden, sollten herkömmliche Gleichgewichtstrainings überdenkt und nötigenfalls angepasst werden.

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

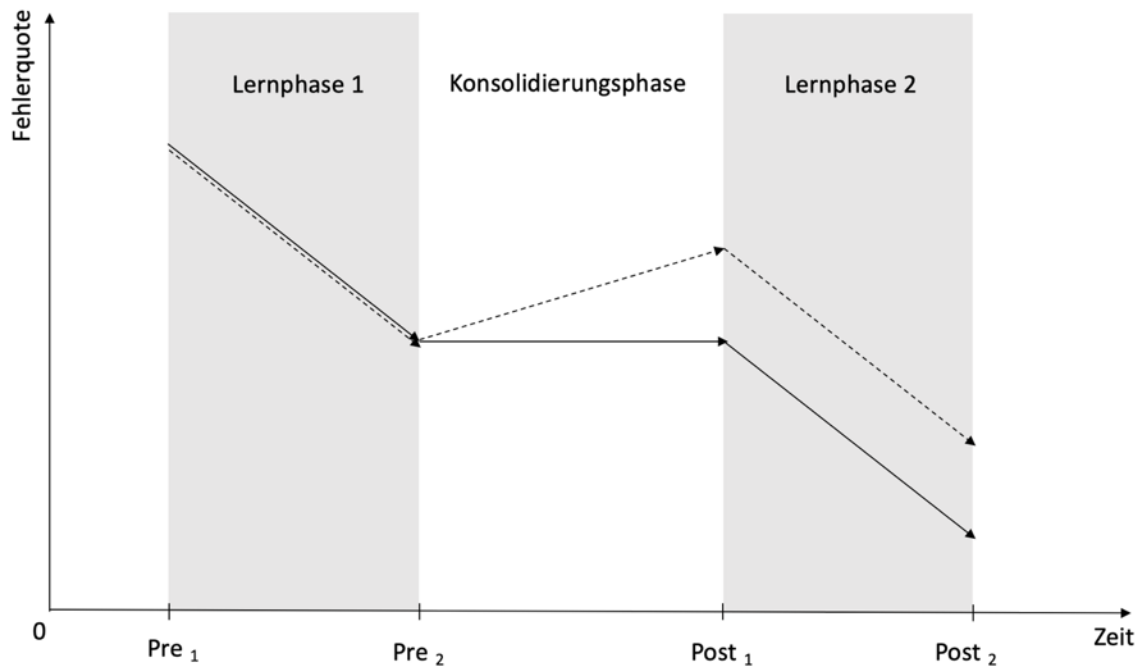
Was passiert in der Zeit direkt nach dem Erlernen einer neuen Bewegungsaufgabe? Nach Brashers-Krug, Shadmehr, and Bizzi (1996) werden neuronale Prozesse initiiert, um die Bewegungen zu festigen. Dieser Festigungsvorgang wird Konsolidierung genannt. Es gibt verschiedene Faktoren, welche die Konsolidierung begünstigen oder erschweren. Um zu überprüfen, wie viel von einer ursprünglich erlernten Aufgabe (Pre-Test) übrig ist, wird die gleiche Aufgabe zu einem späteren Zeitpunkt (Post-Test) getestet. Alles was davon übrig bleibt, wird als Retention bezeichnet (Schmidt, Lee, Winstein, Wulf, & Zelaznik, 2018).

Nicht immer verläuft dieser Festigungsvorgang problemlos ab. Wenn die Konsolidierung durch das Erlernen von anderen motorischen Aufgaben gestört wird, spricht man von Interferenz. Bisher konnte Interferenz bei einfachen motorischen Aufgaben ausgelöst werden (Brashers-Krug et al., 1996; Lundbye-Jensen, Petersen, Rothwell, & Nielsen, 2011). Nun soll untersucht werden, ob Interferenz auch bei komplexeren Gleichgewichtslernaufgaben ausgelöst werden kann. Dafür werden die Begrifflichkeit und die aktuelle Forschungslage von Interferenz genauer beleuchtet. Zudem wird der aktuelle Wissenstand zu Gleichgewichtstraining aufgearbeitet. In Anlehnung an die Studie von Lundbye-Jensen et al. (2011) werden ballistische Kraftaufgaben und visuomotorische Genauigkeitsaufgaben näher betrachtet, da diese als Interferenzaufgaben möglich sind.

## 1.2 Hintergrund und Ausgangslage

In diesem Kapitel werden die für diese Arbeit wichtigen Bereiche Konsolidierung, Retention, Interferenz und Gleichgewicht genauer erläutert, um auf die Fragestellung hinzuführen.

**1.2.1 Konsolidierung und Retention.** Allgemein versteht man unter dem Begriff Konsolidierung einen Bestand festigen oder sichern. Im Bereich des Bewegungslernens wird Konsolidierung allgemein als Festigungsvorgang verstanden, um eine neu erworbene Bewegungsaufgabe später wieder abrufen zu können. Unter Retention versteht man das, was vom Gelernten übrigbleibt. In den Bewegungswissenschaften meint Retention die Menge der erlernten Fertigkeiten, welche zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgerufen werden können (Brashers-Krug et al., 1996; McGaugh, 2000; Schmidt et al., 2018). Konsolidierung und Retention können anhand der Abbildung 1 vereinfacht erklärt werden.



*Abbildung 1.* Die Abbildung zeigt das Erlernen einer Bewegung in zwei Lernphasen. Das Ziel ist eine möglichst geringe Fehlerquote (y-Achse). Zwischen Pre<sub>2</sub> und Post<sub>1</sub> (x-Achse) geschieht die Konsolidierung des Erlernten aus Lernphase 1. In Lernphase 2 kann darauf aufgebaut werden. Die durchgezogenen Linien stellen einen Lernverlauf mit vollständiger Konsolidierung dar, was einer maximalen Retention entspricht. Die gestrichelten Linien zeigen einen Lernverlauf mit unvollständiger Konsolidierung und somit einer unvollständigen Retention.

Schon im Jahre 1900 haben Müller and Pilzecker (1900) den Begriff Gedächtniskonsolidierung verwendet. In diesem Zusammenhang führten sie eine Untersuchung durch, bei denen sich die Probanden Wortlisten merken mussten. Diese Wortlisten wurden erst nach einer gewissen Zeit stabilisiert. Auch bei visuomotorischen Aufgaben konnten Brashers-Krug et al. (1996) aufzeigen, wie wichtig die Zeit nach dem Erlernen einer Bewegungsaufgabe ist. Sie hatten festgestellt, dass eine Pause von vier Stunden zwischen dem Erlernen der ersten und der zweiten Aufgabe eine signifikant erhöhte Retention mit sich bringt.

Weiter konnte die Bedeutung von Schlaf für den Festigungsprozess in unserem Gehirn nachgewiesen werden. Morita, Ogawa, and Uchida (2016) konnten aufzeigen, dass eine kurze Schlafphase von 70 Minuten die Konsolidierung nach dem Erlernen einer Jonglierübung begünstigt. Wenn die Konsolidierung gestört wird und damit die Retention niedriger ausfällt, kann von Interferenz gesprochen werden.

**1.2.2 Interferenz.** Dieses Unterkapitel widmet sich Definition und Erscheinungsformen von Interferenz. Zudem wird die aktuelle Forschungslage insbesondere im Bereich des motorischen Lernens aufgezeigt. Um aufzuzeigen, unter welchen Umständen bisher Interferenz

nachgewiesen werden konnte, werden Trainingsmodalitäten und die Lernaufgaben näher beleuchtet.

**Definition und Erscheinungsformen.** Im Bewegungslernen wird der Begriff Interferenz verwendet, wenn die Konsolidierung und damit die Wiedergabe einer Aufgabe (Task A) durch eine andere Aufgabe (Task B) gestört wird. „Als Interferenz versteht man ganz allgemein die Erscheinung, dass ein Lernvorgang einen anderen Lernvorgang stört, hemmt oder gar löschen kann“ (Meinel & Schnabel, 2007, S.201). Krakauer, Ghez, and Ghilardi (2005) beschreiben die Konsolidierung treffend als Resistenz gegenüber Interferenz. Es wird zwischen retroaktiver (oder retrograder) und proaktiver (oder anterograder) Interferenz unterschieden (Robertson, Pascual-Leone, & Miall, 2004). Bei der retroaktiven Interferenz wird früher Gelerntes durch später Gelerntes überlagert, so dass die älteren Inhalte gelöscht oder zumindest nicht mehr abgerufen werden können. Bei der proaktiven Interferenz überlagert das früher Gelernte das später zu Lernende und verhindert so das Abspeichern neuer Inhalte. Abbildung 2 verdeutlicht diese zwei Erscheinungsformen.

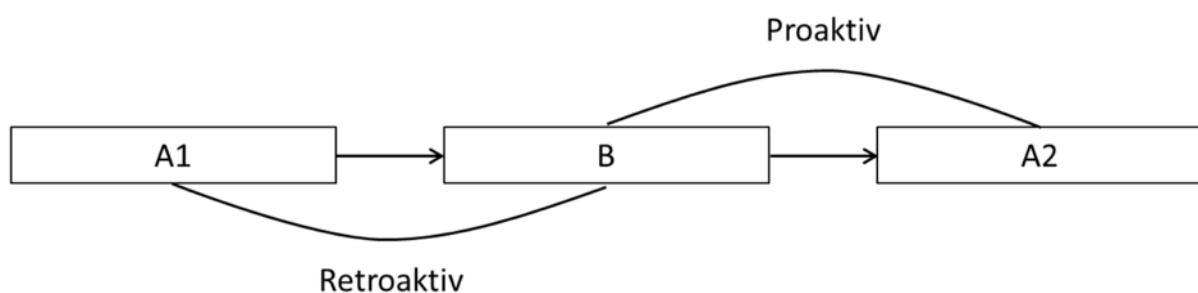
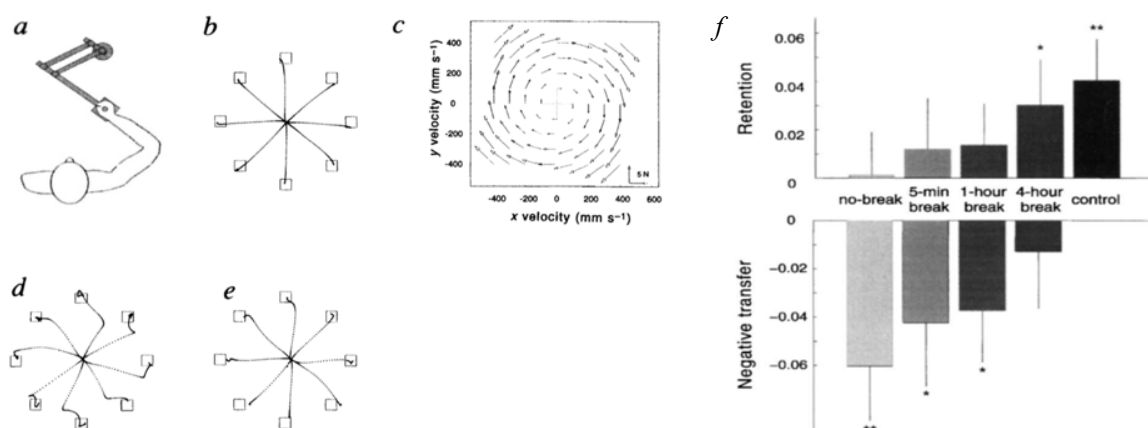


Abbildung 2. Die beiden Erscheinungsformen von Interferenz (retroaktiv/proaktiv) sind ersichtlich. Übernommen von Egger (2017, S. 5).

**Interferenz und motorisches Lernen.** Nach bisherigen Erkenntnissen scheint besonders die retroaktive Interferenz beim Bewegungslernen aufzutreten. Lewis and Miles (1956) konnten diese Vermutung ein erstes Mal belegen. Wie bereits in Kapitel 1.2.1 erwähnt, konnten Brashers-Krug et al. (1996) aufzeigen, dass Interferenz beim motorischen Lernen von der Zeit zwischen dem Erlernen von zwei Aufgaben abhängig ist. Für die Studie rekrutierten sie 70 Probanden im Alter von 18 bis 35 Jahren. Die Probanden wurden angewiesen, mithilfe eines sogenannten Manipulandum in der rechten Hand einen Punkt auf dem Bildschirm zu steuern. Das Ziel war, den Cursor in der Mitte des Bildschirms in einer vorgegebenen Zeit und möglichst genau durch ein plötzlich erscheinendes Zielquadrat zu bewegen. Die gewollte geradlinige Bewegung der Testperson wurde mit geschwindigkeitsabhängigen Drehkräften gestört. Die Lernaufgabe bestand darin, diese auferlegten Drehkräfte zu kompensieren. Am Ende der

jeweiligen Lernsequenz waren die Probanden im Stande, diese Kompensation soweit zu verbessern, dass sie die Ziele geradlinig ansteuern konnten (Abbildung 3). Die Probanden waren in fünf Gruppen unterteilt. Alle Gruppen absolvierten am zweiten Tag einen Retention-Test mit den gleichen Drehkräften, um den erhalten gebliebenen Lernfortschritt zu belegen. Die erste Gruppe, welche als Kontroll- Gruppe ausgewiesen wurde, hatte keine zusätzliche Aufgabe zu erlernen. Die anderen Gruppen erlernten neben der primären Aufgabe (Task A) eine zweite Aufgabe (Task B). Die Task B unterschied sich nur dahingehend zu Task A, dass die Drehrichtung der störenden Kräfte änderte. Die Pausendauer zwischen der Task A und der Task B war bei den verbleibenden Gruppen unterschiedlich. Eine Gruppe hatte keine Pause, die anderen fünf Minuten, eine Stunde oder vier Stunden. Die Resultate sind in Abbildung 3 dargestellt. Daraus lässt sich schliessen, dass die Pausendauer beim Erlernen von zwei unterschiedlichen motorischen Aufgaben ein entscheidender Faktor für die Konsolidierung ist. Oder anders ausgedrückt: Bei einer Pause von weniger als vier Stunden zwischen zwei motorischen Lernaufgaben besteht die Möglichkeit, dass Interferenz auftritt.



**Abbildung 3.** Methode und Resultate der Studie von Brashers-Krug et al. (1996). Das Manipulandum und die Versuchsperson von oben gesehen (a). Beispiel für die ausgeführten Linien durch die acht quadratischen Ziele ohne Störung (b). Die störenden Drehkräfte mit Pfeilen dargestellt (c). Beispiel für die ausgeführten Linien eines Probanden mit störenden Drehkräften im Uhrzeigersinn zu Beginn der Lernaufgabe (d) und nach fünf Minuten Training (e). Resultate (f): Zu sehen ist die Retention und der negative Transfer für die fünf verschiedenen Gruppen mit den unterschiedlichen Pausenzeiten zwischen den zwei verschiedenen Lernaufgaben. Bei der no-break-Gruppe war der negative Transfer hoch signifikant. Die 4-hour-break-Gruppe wies eine signifikant erhöhte Retention der ersten Aufgabe auf. \* = signifikant, \*\* hoch signifikant. Übernommen von Brashers-Krug et al. (1996, S. 253, 254).

**Interferenz und Trainingsmodalitäten.** Bei Brashers-Krug et al. (1996) wurden die beiden Lernaufgaben (Task A und Task B) in so genannten Blöcken trainiert. Nicht alle Lernprotokolle rufen nach Robertson et al. (2004) Interferenz hervor. So konnten sie verdeutlichen, dass

Blocktrainings eher für Interferenz anfällig sind als randomisierte Trainings. Bei Blocktrainings werden die einzelnen Lernaufgaben (Beispielsweise Task A, Task B und Task C) in Blöcken nacheinander trainiert. Bei den randomisierten Trainings werden diese Tasks in mehreren kürzeren Sequenzen und in zufälliger Reihenfolge nacheinander trainiert.

Krakauer et al. (2005) konnten die Ergebnisse von Brashers-Krug et al. (1996) insofern unterstützen, dass sie die Konsolidierungszeit zwischen Task A und Task B als wichtigen Faktor für das Auftreten von Interferenz sehen. Sie haben aber versucht diese zeitlichen Faktoren wie die Lerndauer und die Pausendauer zu präzisieren. Dazu haben sie visuomotorische Lernaufgaben mit störenden Drehkräften wie bei Brashers-Krug et al. (1996) durchgeführt. So konnten sie feststellen, dass die Konsolidierung verbessert war, wenn in mehreren kleinen Umfängen gelernt wurde, als in wenigen grossen Umfängen. Darüber hinaus geht aus der Studie hervor, dass bei einer Verlängerung der ersten Lernphase um das Zweifache keine Interferenz auftrat, obwohl die nachfolgende Pause zur Interferenzaufgabe nur fünf Minuten betrug. Später konnte Krakauer (2009) bestätigen, dass durch sogenanntes Sättigungslernen bei visuomotorischen Lernaufgaben die Konsolidierung verbessert werden kann. Sättigungslernen bedeutete in diesem Zusammenhang, dass die Probanden die Aufgabe so lange lernten, bis keine Lernfortschritte mehr erkennbar waren.

Muellbacher et al. (2002) wollten herausfinden, welche Rolle der primär motorische Kortex (M1) beim motorischen Lernen spielt. So liessen sie die Probanden schnelle Fingerbewegungen ausführen, wobei diese Bewegungen innerhalb kurzer Zeit schneller und kräftiger wurden. Bei der Interventionsgruppe konnten die Lernfortschritte mit der Anwendung von repetitiven transkraniellen magnetischen Stimulationen (rTMS) über dem M1 entscheidend verringert werden. rTMS wurde dabei direkt nach der Fingerbewegungs-Aufgabe appliziert. Sofern sechs Stunden zwischen der Fingerbewegungs-Aufgabe und der Anwendung von rTMS vergingen, konnte nur geringe Interferenz festgestellt werden. Die Studie lässt den Schluss zu, dass der M1 bei der zeitnahen Konsolidierung vom motorischen Lernen beteiligt ist.

Lundbye-Jensen et al. (2011) konnten in ihrer Studie aufzeigen, dass bei ballistischen Kraftaufgaben ebenfalls Interferenz auftreten kann. Diese Interferenz wurde durch eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe, nachfolgend Accuracy Task (AT) genannt, erreicht. 74 Probanden wurden auf fünf verschiedene Experimente aufgeteilt. Die Probanden absolvierten die Tests sitzend (Abbildung 4), wobei der rechte Fuss auf einem Pedal fixiert wurde, so dass nur noch Plantar-Flexion und Dorsal-Extension möglich waren. Als Task A diente eine ballistische Kraftaufgabe, nachfolgend Ballistic Force Task (FT) genannt, welche mit dem rechten Fuss ausgeführt wurde. Das Ziel war, mittels Plantar-Flexion das Pedal möglichst explosiv nach unten zu drücken. Als Task B wurde eine AT ebenfalls mit dem rechten Fuss ausgeführt.



Bei dieser Aufgabe war das Ziel, einen Punkt auf dem Bildschirm möglichst genau auf einer fortlaufenden Kurve zu halten. Der Punkt konnte über das Pedal mittels Plantar-Flexion und Dorsal-Extension gesteuert werden. Die Methode mit dem Studiendesign ist in Abbildung 4 ersichtlich.

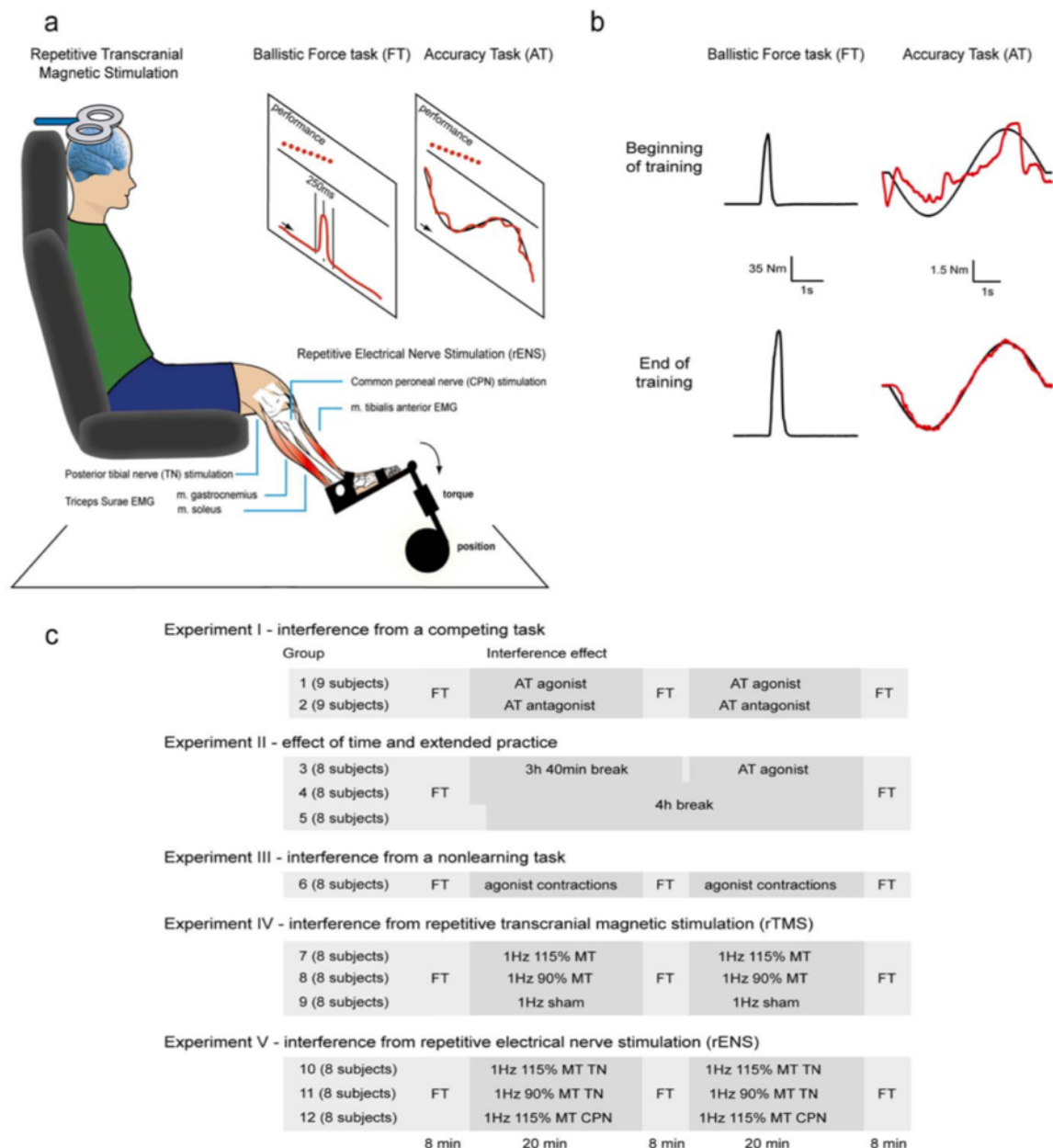


Abbildung 4. Methode bei der Studie von Lundbye-Jensen et al. (2011). Zu sehen ist die Sitzposition der Probanden mit der Fixierung des Fusses zum Aufzeichnen der Bewegungen und Kräfte. Die Position der Applizierung von Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) und Repetitive Electrical Nerve Stimulation (rENS) werden ebenfalls aufgezeigt (a). EMG = Elektromyogramm. Die beispielhaften Lernveränderungen der FT und der AT sind dargestellt (b). Die Übersicht (c) zeigt die das Studiendesign mit den fünf verschiedenen Experimenten. MT = Motorische Schwelle, TN = Schienbeinnerv. CPN = Herkömmlicher Wadenbeinnerv. Übernommen von Lundbye-Jensen et al. (2011, S. 3).

Folgende Erkenntnisse konnten Lundbye-Jensen et al. (2011) festhalten: Wenn Task A und Task B mit dem gleichen Muskel ausgeführt wurde, trat Interferenz auf. Es trat keine Interferenz auf, wenn Task A mit dem Agonisten und Task B mit dem Antagonisten ausgeführt wurde. Keine Interferenz konnte beobachtet werden, wenn zwischen Task A und Task B eine Pause von drei Stunden und 40 Minuten eingehalten wurde. Wenn Task B keine Lernaufgabe war, wurde ebenfalls keine Interferenz festgestellt. Bei der Anwendung von rTMS über M1 nach Task A konnte Interferenz festgestellt werden. Allerdings war dies nur der Fall, wenn die Stimulationen durch rTMS als Muskelkontraktionen sichtbar wurden. Die Resultate aus der Untersuchung lassen folgende Schlüsse zu, unter welchen Bedingungen Interferenz auftreten kann: 1. Die Aufgaben müssen die gleiche Muskulatur in die gleiche Bewegungsrichtung betreffen. 2. Die Zeit zwischen den beiden Lernaufgaben ist entscheidend. Eine Pausendauer von knapp vier Stunden scheint vor Interferenz zu schützen. 3. Beide Aufgaben (Task A und Task B) müssen Lernaufgaben sein. Wenn eine der beiden Aufgaben keine Lernaufgabe ist, tritt keine Interferenz auf. 4. Wenn rTMS nach Task A über dem primär-motorischen Kortex (M1) appliziert wird, kann Interferenz hervorgerufen werden.

Diese Schlüsse konnten bisher nur mit isolierten, einfachen motorischen Lernaufgaben nachgewiesen werden. Lundbye-Jensen et al. (2011) haben eine ballistische Kraftaufgabe und eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe eingesetzt, um die Interferenz aufzuzeigen. Aus diesem Grund wird etwas genauer auf die beiden einfachen motorischen Lernaufgaben eingegangen.

***Ballistic Force Task (FT).*** Von einer ballistischen Kraftaufgabe wird gesprochen, wenn die Bewegungsausführung mit der grösst möglichen Kraft und in kürzest möglicher Zeit geschehen soll. Nach Adams (1971) kann diese Bewegung den „open-loop“-Prozessen zugeordnet werden, da die Ausführung sehr schnell geschehen muss und keine Korrektur während der einzelnen Ausführung erfolgen kann. Ein Beispiel dafür ist die Finger-Tip Aufgabe, welche Muellbacher et al. (2002) in ihrer Studie verwendeten. Bei Lundbye-Jensen et al. (2011) kam eine ballistische Kraftaufgabe zum Zug, welche mit dem Fuss ausgeführt wurde. Sie haben das Drehmoment gemessen, welches innerhalb von 250 Millisekunden realisiert werden konnte. Daraus wurden die Lernfortschritte errechnet.

***Accuracy Task (AT).*** Eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe ist eine Bewegungsaufgabe, bei welcher einen Abgleich zwischen aufgenommenen visuellen Informationen und den ausgeführten Bewegungen stattfindet (Shumway-Cook & Woollacott, 2007). Im Unterschied zu der ballistischen Kraftaufgabe liegt ein „closed-loop“ Prozess (Adams, 1971) vor, da während der Ausführung genügend Zeit vorhanden ist. Somit kann die Bewegungsausführung ständig durch die visuellen Informationen kontrolliert und abgeglichen werden. Brashers-Krug et al. (1996) haben eine Form von visuomotorischer Genauigkeitsaufgabe eingesetzt, bei welcher

mit der Hand ein Manipulandum bewegt wird. Lundbye-Jensen et al. (2011) haben eine visumotorische Genauigkeitsaufgabe mit dem Fuss als Interferenztask eingesetzt. Das Ziel war, einen Punkt auf dem Bildschirm mit dem Fuss so zu steuern, dass er möglichst genau auf einer wandernden Sinuskurve blieb. Der Lernfortschritt konnte dabei aus der Abweichung zur vorgegebenen Kurve errechnet werden.

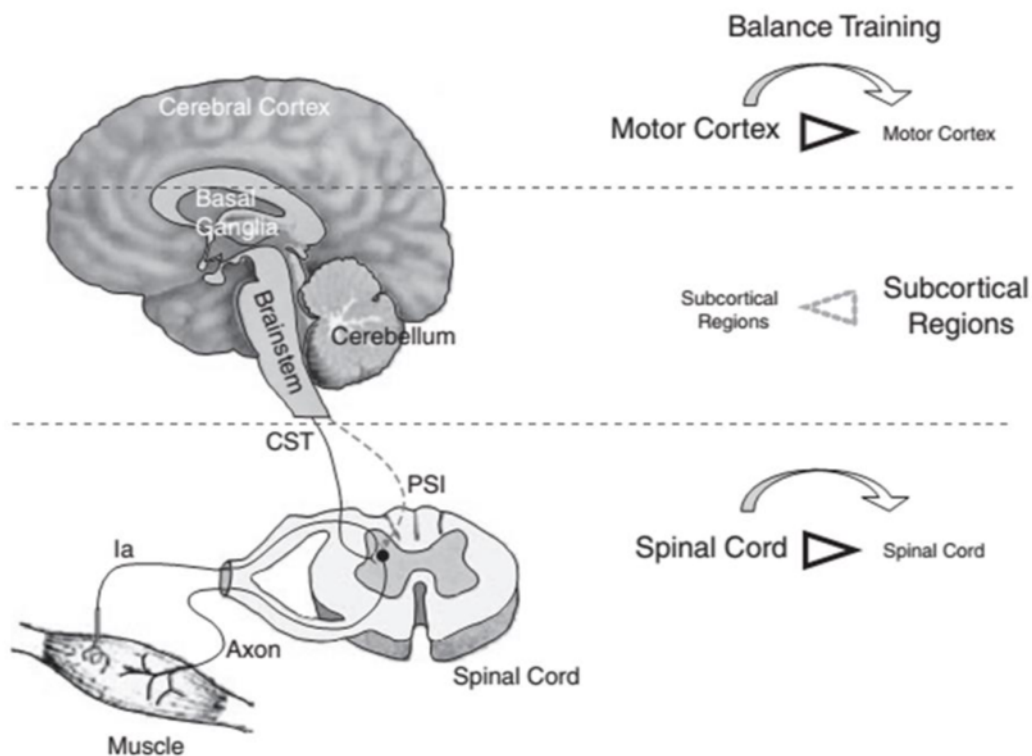
**Interferenz bei komplexen Gleichgewichtslernaufgaben.** Im Zusammenhang mit Gleichgewichtslernaufgaben konnte bis heute noch keine Interferenz nachgewiesen werden (Egger, 2017; Giboin, Gruber, & Kramer, 2018). Die bisherigen Erkenntnisse von Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben werden im Kapitel 1.2.4 dargestellt. Zuerst wird im Kapitel 1.2.3 genauer auf das Thema Gleichgewicht eingegangen, um die Funktionsweise der Gleichgewichtssysteme deutlich zu machen.

**1.2.3 Gleichgewicht.** Gleichgewicht hat für unser tägliches Leben eine grosse Bedeutung. Ohne Gleichgewichtskontrolle könnten wir weder stehen noch gehen. Vielleicht weil die Gleichgewichtskontrolle unser Leben so beeinflusst, ist das Thema in der wissenschaftlichen Literatur sehr präsent. Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Definition und der Funktionsweise der am Gleichgewicht beteiligten Systeme. Zudem wird aufgezeigt, wie die Gleichgewichtsfähigkeit gemessen werden kann, welche Trainingsmodalitäten wirkungsvoll sind und welche Effekte Gleichgewichtstraining hervorrufen kann.

**Definition.** Es werden zwei Formen von Gleichgewicht unterschieden: Das statische und das dynamische Gleichgewicht (Granacher, Gollhofer, & Kriemler, 2010; Granacher, Muehlbauer, Maestrini, Zahner, & Gollhofer, 2011; Taube, Lorch, Zeiter, & Keller, 2014). Eine stehende Person ist ein Beispiel für ein statisches Gleichgewicht. Dagegen befindet sich eine Person, welche in Bewegung ist, in dynamischem Gleichgewicht. Dies ist beim Gehen und bei der Ausübung von jeglichen Sportarten der Fall. Aber wie funktionieren diese komplexen Vorgänge, um den menschlichen Körper in Gleichgewicht zu halten?

**Funktionsweise.** Um einen Körper im Gleichgewicht zu halten, sind verschiedene Systeme aktiv. Dabei kann zwischen sensorischen und motorischen Bereichen unterschieden werden (Taube, Gruber, & Gollhofer, 2008). Die sensorischen Systeme sind dafür zuständig, die entscheidenden Informationen aufzunehmen: Der Sehsinn und der Tastsinn können Informationen von ausserhalb des Körpers liefern, der Vestibulärapparat und die Propriozeptoren stellen Informationen aus dem Körperinnern zur Verfügung. Die motorischen Systeme kontrollieren die muskuläre Steuerung: Dazu gehören nach heutigem Wissenstand das Rückenmark, der Hirnstamm, die Basalganglien, das Kleinhirn und der motorische Kortex. In Abbildung 5 sind

die involvierten Strukturen bei Gleichgewichtsaufgaben ersichtlich. Zudem wird verdeutlicht, wie sich Gleichgewichtstraining auf die verschiedenen Bereiche auszuwirken scheint.



*Abbildung 5.* Strukturen des Zentralnervensystems (ZNS) und die Auswirkungen von Gleichgewichtstraining auf diese. Die linke Seite zeigt die mutmasslich an Gleichgewichtsvorgängen beteiligten Strukturen des ZNS. Diese können in den motorischen Kortex, die subkortikalen Regionen und das Rückenmark unterteilt werden. Auf der rechten Seite wird verdeutlicht, dass die subkortikalen Regionen durch Gleichgewichtstraining an Einfluss gewinnen. Dies wird durch die verringerten Reflexe und der erhöhten präsynaptischen Inhibition (PSI) erklärt. CST = Korticospinaltrakt (Pyramidenbahn), Ia = Nervenfaser der Klasse Ia (Muskelspindeln). Übernommen von Taube et al. (2008, S. 111).

**Gleichgewichtstests.** Die statische Gleichgewichtsfähigkeit wird gemäss Egger (2017) mit dem so genannten Center of Pressure gemessen. Dafür versuchen die Probanden auf einer Plattform oder einer Kraftmessplatte möglichst ruhig zu stehen. Der Druckmittelpunkt verschiebt sich bei Bewegungen, was einen Schwankweg der Plattform zur Folge hat. Granacher et al. (2010) und Granacher et al. (2011) haben beispielsweise solche Tests eingesetzt. Dabei konnte aus einem geringeren Schwankweg auf eine bessere Gleichgewichtsfähigkeit geschlossen werden. Um die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit zu messen, muss die Plattform des Messgerätes auch beweglich sein. Beispielsweise Taube et al. (2014) sowie Egger (2017) setzten solche Testgeräte in ihren Studien ein. Dabei kann wie bei der statischen Messung der Schwankweg oder Winkelveränderungen aufgezeichnet und ausgewertet werden. Solche

standardisierten Messungen im Labor ermöglichen einen guten Vergleich der Leistungen von verschiedenen Probanden und das Aufzeigen der Lernfortschritte. Die Gleichgewichtsfähigkeit setzt sich aber aus sehr vielen Faktoren zusammen, welche in unterschiedlichsten Situationen zum Tragen kommen. Nach Egger (2017) ist es trotzdem nicht immer notwendig, standardisierte Tests zu verwenden. Sobald eine stabile oder instabile Unterlage Daten bezüglich Gleichgewichtsveränderungen an ein Softwareprogramm weiterleiten kann, ist es möglich die Leistungen zu analysieren.

***Trainingsmodalitäten und Spezifität.*** Das Review von DiStefano, Clark, and Padua (2009) zeigt auf, dass Gleichgewichtstrainings über einen Zeitraum von vier Wochen, an drei Tagen pro Woche während mindestens zehn Minuten pro Tag angelegt werden sollen. Sowohl Giboin, Gruber, and Kramer (2015) als auch Kummel, Kramer, Giboin, and Gruber (2016) konnten nachweisen, dass die Anpassungen nach einem Gleichgewichtstraining nur aufgabenspezifisch sind. Das heisst, dass keine oder nur geringe Transfereffekte von trainierten Gleichgewichtsaufgaben auf andere Gleichgewichtsaufgaben zu beobachten waren. Giboin et al. (2015) haben dazu eine Untersuchung mit 40 jungen Erwachsenen Probanden, aufgeteilt auf drei Gruppen, durchgeführt. Alle drei Gruppen absolvierten denselben Pre- und Post-Test. Diese bestanden aus vier Gleichgewichtsaufgaben auf dem Tilt Board (Abbildung 7) und dem Posturomed. Auf diesen beiden Geräten wurde die Gleichgewichtsfähigkeit auf einem Bein stehend mit den Bewegungsmöglichkeiten Medio-Lateral (ML), wie auch Anterior-Posterior (AP) getestet. In der Interventionsphase absolvierte die erste Gruppe sechs Trainingseinheiten während zwei Wochen auf dem Tilt Board mit der Bewegungsrichtung ML. Die zweite Gruppe hatte ebenfalls sechs Trainingseinheiten während zwei Wochen auf dem Posturomed mit der Bewegungsrichtung AP. Die Kontroll-Gruppe absolvierte kein Training. Die Resultate zeigten, dass sich die Probanden nur auf ihrem trainierten Gerät signifikant verbesserten. Bei der Tilt Board Gruppe war dies sogar nur in der erlernten Bewegungsrichtung Medio-Lateral, ein Transfer für die Anterior-Posterior Richtung fand nicht statt. Dies führt zu folgenden Schlüssen: Gleichgewichtstraining führt zu aufgabenspezifischen Leistungsverbesserungen. Um die Gleichgewichtsfähigkeit als Ganzes zu verbessern, scheint es also wichtig, viele verschiedene Aufgaben ins Training zu integrieren.

***Effekte von Gleichgewichtstraining.*** Neben den Effekten der aufgabenspezifischen Leistungsverbesserung konnten eine Vielzahl anderer Effekte durch Gleichgewichtstraining nachgewiesen werden. Ein interessanter und wichtiger Effekt besonders für den Spitzensport ist die Leistungssteigerung. Damit ist nicht nur eine Verbesserung der posturalen Funktionen gemeint, sondern auch weniger naheliegende Bereiche. So konnte durch Gleichgewichtstraining etwa eine Erhöhung der Explosivkraft nachgewiesen werden (Gruber & Gollhofer,

2004). Taube et al. (2007) haben aufgezeigt, dass die Sprunghöhe von Athleten durch Gleichgewichtstraining gesteigert werden konnte. Die Verletzungsprophylaxe durch Gleichgewichtstraining ist besonders für ältere Erwachsene von grosser Bedeutung. Sherrington et al. (2008) haben aufgezeigt, dass solche Trainings das Sturzrisiko senken können. Auch im Spitzensport wurde die Prävention von Verletzungen durch Gleichgewichtstrainingsprogramme bestätigt (Myklebust et al., 2003). Nicht nur in der Prävention, sondern auch in der Rehabilitation wurde der Nutzen von Gleichgewichtstrainings längst erkannt. Freeman, Dean, and Hanham (1965) stellten dies fest, indem sie herkömmliche Rehabilitationsprogramme und Gleichgewichtstrainings miteinander verglichen. Dabei war das Gleichgewichtstraining effektiver. Henriksson, Ledin, and Good (2001) konnten diese Beobachtungen bestätigen. Das Gleichgewichtstraining wird dank der vielen positiven Effekte zur Leistungssteigerung, zur Verletzungsprophylaxe und in der Rehabilitation umfangreich eingesetzt. Aus diesem Grund ist es wichtig zu wissen, ob die gängigen Gleichgewichtstrainings und –lernaufgaben durch Interferenz gefährdet sein könnten.

**1.2.4 Interferenz bei Gleichgewicht.** Bis jetzt konnte nicht nachgewiesen werden, dass bei Gleichgewichtstrainings Interferenz ausgelöst werden kann. Bisher sind nach meinem Wissen erst zwei Untersuchungen in diesem Bereich durchgeführt worden (Egger, 2017; Giboin et al., 2018). Diese beiden Studien werden in diesem Kapitel erläutert.

Egger (2017) hat untersucht, ob das Interferenzphänomen von einfachen motorischen Lernaufgaben auf Gleichgewichtslernaufgaben übertragbar ist. Dafür wurden 61 Probanden in vier Gruppen unterteilt. Alle Gruppen absolvierten zuerst ein Gleichgewichtstraining auf einer Wippe (Task A). Die Kontrollgruppe hatte keine nachfolgende Lernaufgabe zu trainieren. Die anderen drei Gruppen mussten sich auf einem unterschiedlichen Gleichgewichtsgerät (Task B) direkt im Anschluss an Task A (nach vier Minuten) verbessern. Als Gleichgewichtsgeräte für die Task B wurden ein Kreisel, ein Kippbrett und ein Stabilometer eingesetzt (Abbildung 6). Pro Lernphase wurden vier Serien mit vier Versuchen à 15 Sekunden durchgeführt.



*Abbildung 6.* Die vier eingesetzten Gleichgewichtsgeräte bei Egger (2017). Ganz links: Wippe. Mitte links: Kreisel. Mitte rechts: Kippbrett. Ganz rechts: Stabilometer. Übernommen von Egger (2017, S. 25-27).

Es konnten sowohl bei den bewegungsspezifischen wie auch bei den bewegungsunspezifischen Gleichgewichtslernaufgaben keine Interferenz nachgewiesen werden. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die motorischen Lernaufgaben in diesem Fall zu komplex waren, um Interferenz hervorzurufen. Ein weiterer Grund für das Fehlen von Interferenz könnte sein, dass die Retention Tests am gleichen Tag durchgeführt wurden. Zudem ist nicht klar, ob die Bewegungs- und Muskelspezifität bei allen Gleichgewichtstasks gegeben war.

Giboin et al. (2018) wollten ebenfalls in Erfahrung bringen, ob Interferenz bei Gleichgewichtsaufgaben auftreten kann. Dafür wurden 69 Probanden rekrutiert, welche auf zwei verschiedene Experimente aufgeteilt wurden. Abbildung 7 zeigt das Studiendesign mit den beiden Gleichgewichtsaufgaben. Im ersten Experiment wurde für eine Gruppe eine zusätzliche Gleichgewichtsaufgabe (Slackline) in die bestehenden Trainingssequenzen eingebaut. Diese Aufgabe wurde während den Sequenzen alternierend zur ersten Aufgabe (Tilt Board) ausgeführt. Eine weitere Gruppe hatte nur auf dem Tilt Board trainiert, während die Kontrollgruppe kein Gleichgewichtstraining ausführte. Im zweiten Experiment musste eine Gruppe während drei aufeinanderfolgenden Trainingssequenzen die zusätzliche Gleichgewichtsaufgabe (Slackline) trainieren. Wie im ersten Experiment gab es eine weitere Tilt Board-Gruppe und eine Kontrollgruppe. Das Ziel der Probanden war, das Tilt Board während der vorgegebenen Zeit möglichst lange in der Horizontalen zu halten, während sie mit ihrem dominanten Fuss darauf standen. Die Zeit in der Horizontalen wurde mittels Reflektoren auf dem Tilt Board und mit einem Bewegungserfassungssystem aufgezeichnet. Die Resultate zeigten sowohl beim ersten wie auch beim zweiten Experiment keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, welche auf eine mögliche Interferenz hinweisen könnten.

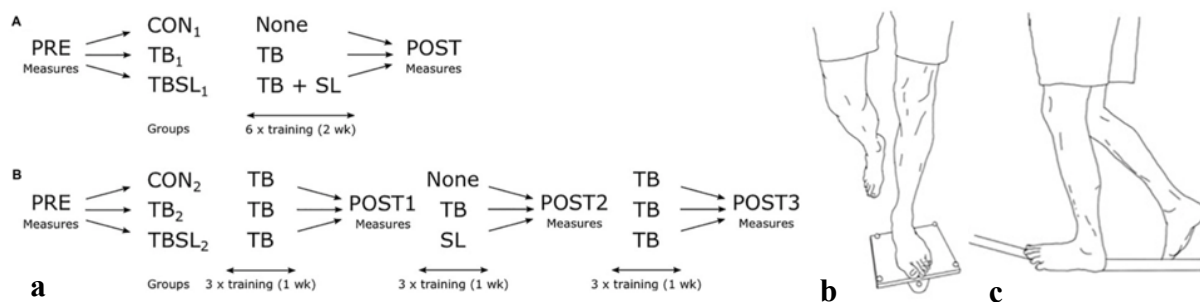


Abbildung 7. Studie von Giboin et al. (2018). Studiendesign (a) mit den zwei Experimenten (A und B). CON = Control Group, TB = Tilt Board, SL = Slackline, wk = Week. Erstes Experiment (A): sechs Trainingssequenzen mit 15 Versuchen à 20 Sekunden (TB) mit zehn Sekunden Pause dazwischen, nach fünf Versuchen eine Minute Pause, Gruppe TBSL mit 30 Versuchen à 20 Sekunden alternierend TB und SL. Zweites Experiment (B): neun Trainingssequenzen mit 20 Versuchen à 20 Sekunden, gleiche Pausendauern wie im ersten Experiment. Gleichgewichtsaufgabe auf dem TB (b). Gleichgewichtsaufgabe auf der SL (c). Übernommen von Giboin et al. (2018, S. 3).

Die Autoren der Studie fassen zusammen, dass keine Interferenz beim Hinzufügen einer neuen Gleichgewichtsaufgabe auftritt, sowohl wenn die Aufgabe in die Trainingssequenz integriert wird, als auch wenn die Aufgabe in separaten Sequenzen trainiert wird.

Wenn man die Studie von Giboin et al. (2018) unter dem Blickwinkel der Untersuchung von Lundbye-Jensen et al. (2011) betrachtet, fallen folgende Punkte auf: 1. Die Aufgaben waren nicht mit Sicherheit muskelspezifisch. Dies wäre gemäss Lundbye-Jensen et al. (2011) notwendig, damit Interferenz auftreten kann. Um diesen Umstand zu beweisen, müssten die EMG der verwendeten Muskulatur aufgezeichnet werden. 2. Es wird nicht aufgezeigt, dass bei der Slackline-Aufgabe Lernfortschritte stattgefunden haben. Lundbye-Jensen et al. (2011) konnten aber nur bei Lernaufgaben Interferenz feststellen. 3. Beim zweiten Experiment war die Zeit zwischen Task A und Task B offensichtlich länger als vier Stunden. Nach Lundbye-Jensen et al. (2011) und Brashers-Krug et al. (1996) ist aber eine Zeit von weniger als vier Stunden zwischen Task A und Task B entscheidend. Zudem wurden im ersten Experiment die beiden Aufgaben alternierend und nicht im Block trainiert. Nach Robertson et al. (2004) sind aber im Block trainierte Aufgaben anfälliger für Interferenz. Es bleibt also offen, ob unter Berücksichtigung dieser Punkte trotzdem Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben auftreten kann.

### **1.3 Ziel und konkrete Fragestellungen**

Wie im Kapitel 1.2 dargestellt, konnte bisher keine Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben aufgezeigt werden. Unklar ist dabei, ob tatsächlich keine Interferenz auftreten kann oder ob die mangelhaften Untersuchungsdesigns der bisher durchgeführten Studien dazu führten.

**1.3.1 Ziel.** Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, zu überprüfen, ob bei einer komplexen Gleichgewichtslernaufgabe Interferenz auftritt, wenn anschliessend eine einfache motorische Aufgabe erlernt wird. Diese einfache motorische Aufgabe soll den Aufgaben möglichst ähnlich sein, mit welchen bisher Interferenz nachgewiesen werden konnte (Lundbye-Jensen et al., 2011). Zudem müssen sowohl die komplexe Gleichgewichtsaufgabe wie auch die einfache motorische Aufgabe Lernaufgaben sein. Darüber hinaus soll bei beiden Aufgaben berücksichtigt werden, dass die gleichen Muskeln in die gleiche Bewegungsrichtung involviert sind.



**1.3.2 Konkrete Fragestellungen.** Um das im Kapitel 1.3.1 definierte Ziel zu erreichen, wurden folgende Fragestellungen formuliert. Dabei wurden sowohl ballistische Kraftaufgaben wie auch visuomotorische Genauigkeitsaufgaben als einfache motorische Lernaufgaben berücksichtigt. Die konkreten Fragestellungen der Arbeit und die daraus resultierenden Hypothesen lauten:

**Fragestellung 1.** Tritt bei einer komplexen Gleichgewichtslernaufgabe Interferenz auf, wenn unverzüglich darauf eine ballistische Kraftaufgabe mit der gleichen Muskulatur in der gleichen Bewegungsrichtung erlernt wird?

**Fragestellung 2.** Tritt bei einer komplexen Gleichgewichtslernaufgabe Interferenz auf, wenn unverzüglich darauf eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe mit der gleichen Muskulatur in der gleichen Bewegungsrichtung erlernt wird?

**Hypothesen zu Fragestellung 1.** H<sub>10</sub>: Eine ballistische Kraftaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt nicht zu einer signifikanten Leistungseinbusse.

H<sub>11</sub>: Eine ballistische Kraftaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt zu einer signifikanten Leistungseinbusse.

**Hypothesen zu Fragestellung 2.** H<sub>20</sub>: Eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt nicht zu einer signifikanten Leistungseinbusse.

H<sub>21</sub>: Eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt zu einer signifikanten Leistungseinbusse.

## 2 Methode

### 2.1 Untersuchungsgruppe

An der Untersuchung haben 40 junge Erwachsene teilgenommen. Die Probanden mussten gesund und verletzungsfrei sowie im Alter zwischen 18 und 40 Jahren sein. Sie wurden vor den Messungen randomisiert in zwei Gruppen unterteilt, eine Ballistic Force Task- Gruppe (FT-Gruppe) und eine Accuracy Task Gruppe (AT-Gruppe). Die Charakterisierung dieser beiden Gruppen ist in Tabelle 1 ersichtlich. Alle Probanden wurden erst nachträglich über die genaue Forschungsfrage informiert, damit die Resultate nicht beeinflusst wurden.

Tabelle 1

*Charakterisierung der Probanden (n = 40) der beiden Untersuchungsgruppen*

	FT- Gruppe	AT-Gruppe
n	20	20
Geschlecht [m/w]	7/13	8/12
Alter [Jahre]	23.9 ± 3.8	25.4 ± 4.5
Körpergröße [cm]	171.1 ± 10.9	171.1 ± 8.1
Körpergewicht [kg]	64.6 ± 9.7	64.5 ± 12.6

*Anmerkung.* Die Mittelwerte ± Standardabweichungen für Alter, Körpergröße und Körpergewicht sind angegeben. FT = Ballistic Force Task, AT = Accuracy Task.

### 2.2 Untersuchungsdesign

Vor den Messungen mussten die Probanden ihr Alter, die Körpergröße und das Körpergewicht angeben. Danach wurden sie über den Ablauf informiert. Das beim Interferenzlernen übliche Testsetting A-B-A wurde auch in dieser Untersuchung angewendet. Task A (Kapitel 2.2.1) war ein Gleichgewichtstraining auf einer Wippe. Task B (Kapitel 2.2.2) diente als Interferenztask und war je nach Gruppe eine Ballistic Force Task (FT) oder eine Accuracy Task (AT). Der Ablauf ist in Abbildung 8 dargestellt. Details sind im Anhang (Ablauf Messungen) zu finden. Beide Gruppen absolvierten am ersten Messtag eine Angewöhnung auf der Gleichgewichtswippe (Level Wippe), was sechs Versuche à acht Sekunden und 30 Sekunden Pause zwischen den Versuchen beinhaltete. Um optimale Lernergebnisse zu gewährleisten, wurde diese Angewöhnung mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad durchgeführt. Dabei wurde der Schwierigkeitsgrad jeweils nach zwei Versuchen gesteigert. Die Schwierigkeitsgrade wurden

durch den Wechsel der unterstützenden Federn an der Wippe bestimmt (Abbildung 10 und Kapitel 2.3.1). Aus den sechs Versuchen wurde der Schwierigkeitsgrad für das Gleichgewichtstraining bestimmt. Das ganze Training wurde dann in diesem Schwierigkeitsgrad durchgeführt. Darauf folgte das Gleichgewichtstraining (Pre-Wippe). Dieser Block beinhaltete sechs Serien à acht Versuche. Jeder Versuch dauerte acht Sekunden mit Pausen von 30 Sekunden zwischen den Versuchen. Die Serienpausen betragen jeweils eine Minute. Zwischen Task A und Task B betrug die Pause fünf Minuten.

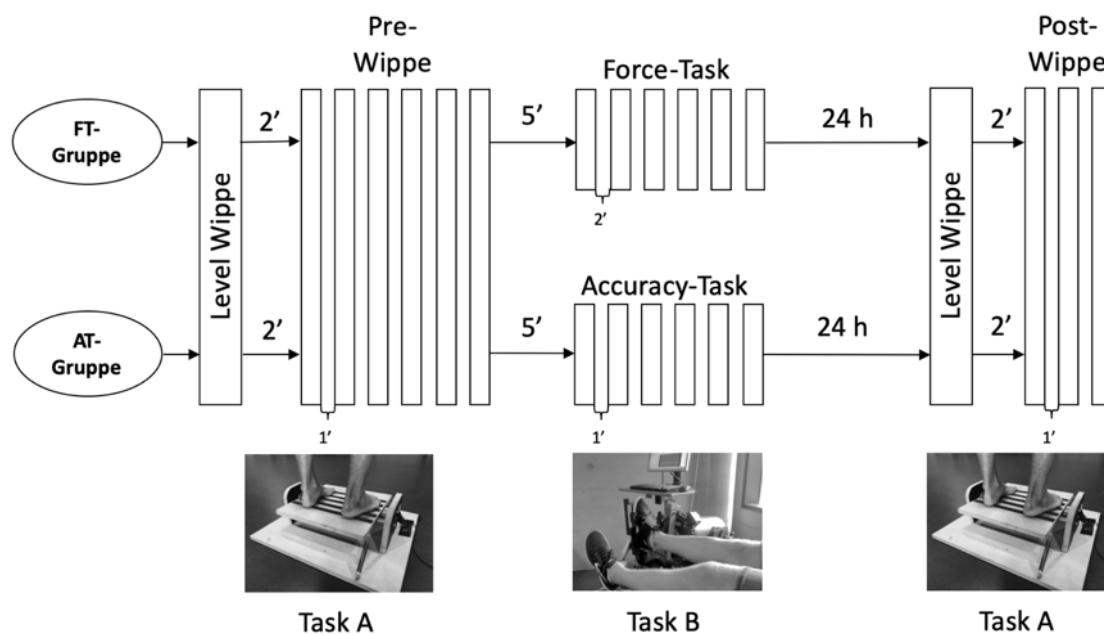
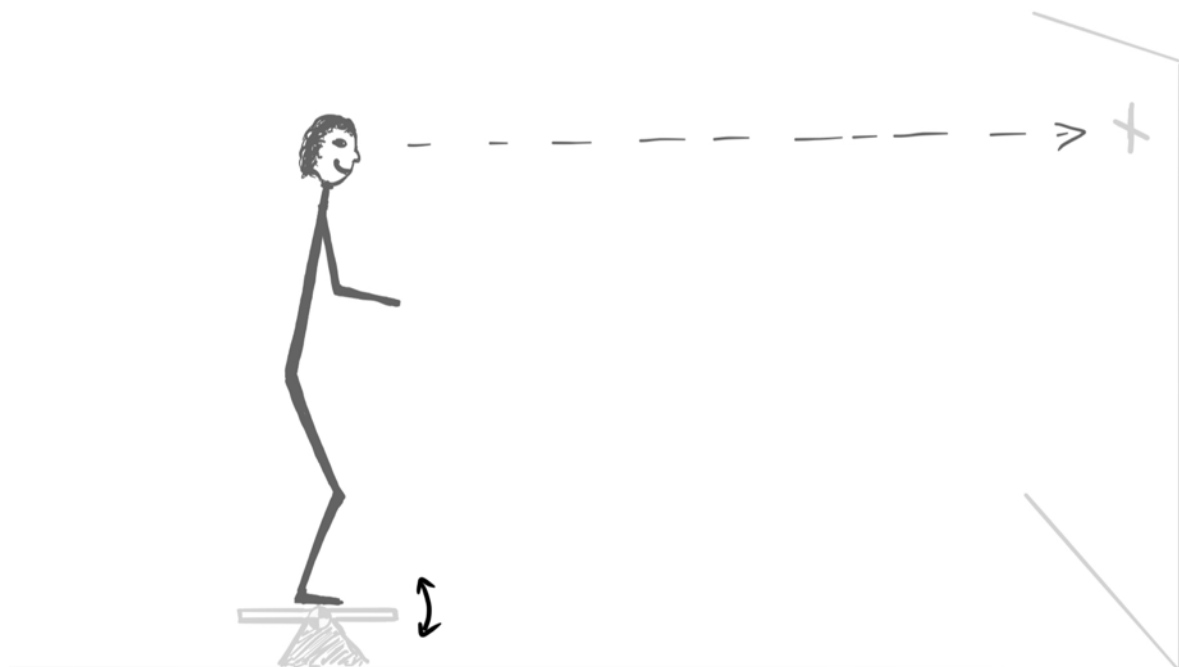


Abbildung 8. Ablauf der Messungen für die zwei Gruppen Ballistic Force Task (FT) und Accuracy Task (AT). Task A ist die Gleichgewichtsaufgabe, Task B die Interferenzaufgabe. Die Pausenzeiten zwischen den Aufgaben sind in Minuten angegeben.

Task B war für die beiden Gruppen unterschiedlich. FT beinhaltete sechs Serien mit je acht Versuchen. Vor der ersten Serie wurden drei Testversuche durchgeführt. Da es sich um Explosivkraftmessungen handelte, dauerten die Versuche weniger als eine Sekunde, die Pausen zwischen den Versuchen betrug 30 Sekunden. Um die Ermüdung der Muskeln weitestgehend auszuschliessen, wurde die Pausenzeit zwischen den Serien auf zwei Minuten festgelegt. AT beinhaltete sechs Serien mit acht Versuchen à acht Sekunden. Vor der ersten Serie wurden drei Testversuche ausgeführt. Zwischen den Versuchen wurde eine Pause von 30 Sekunden eingehalten. Die interserielle Pause betrug eine Minute. 24 Stunden nach der Task B wurde erneut eine Angewöhnung auf der Wippe (Level Wippe) vorgenommen sowie Task A mit drei Serien durchgeführt (Post-Wippe).

**2.2.1 Gleichgewichtsaufgabe (Task A).** Die Gleichgewichtsaufgabe (Task A) wurde auf einer Holzwappe (selbst hergestellt) ausgeführt. Vor jedem Gebrauch wurde die Wippe kalibriert. Die Probanden mussten barfuss auf der Wippe stehen, welche sich in der Sagittalachse bewegen liess. Die Füße wurden hüftbreit nebeneinander platziert (Abbildung 9 und 10). Das Ziel war es, die Wippe während acht Sekunden möglichst waagrecht zu halten. Dabei musste ein Kreuz an der Wand in drei Meter Distanz und 1.70 Meter Höhe visiert werden. Die verwendete Technik wurde den Probanden überlassen. Die Instruktion lautete wie folgt: «Versuche die Wippe möglichst waagrecht und ruhig zu halten.» Um bereits in der waagrichten Position zu starten, mussten sich die Probanden vor dem Startkommando mit der linken Hand festhalten. Dafür diente ein hüfthoher Stuhl zur linken Seite der Probanden. Das Startkommando lautete wie folgt: «Bereit und los!» Nach jedem Versuch standen die Probanden auf den Boden hinter der Wippe und betrachteten das Feedback auf dem Bildschirm zu ihrer rechten Seite (Abbildung 11). Die mittlere Gradabweichung von der Nulllinie und die grafische Darstellung dieser Abweichung sollte den Probanden helfen, sich zu verbessern. Die Pause zwischen zwei Versuchen betrug 30 Sekunden. Wenn ein Proband während einem Versuch das Gleichgewicht verlor und die Wippe verliess oder sich am Stuhl abstützen musste, war dieser Versuch ungültig und wurde wiederholt.



*Abbildung 9.* Bei der Task A mussten die Probanden versuchen, eine Wippe acht Sekunden waagrecht und ruhig zu halten. Dabei mussten sie ein Kreuz an der Wand fixieren.

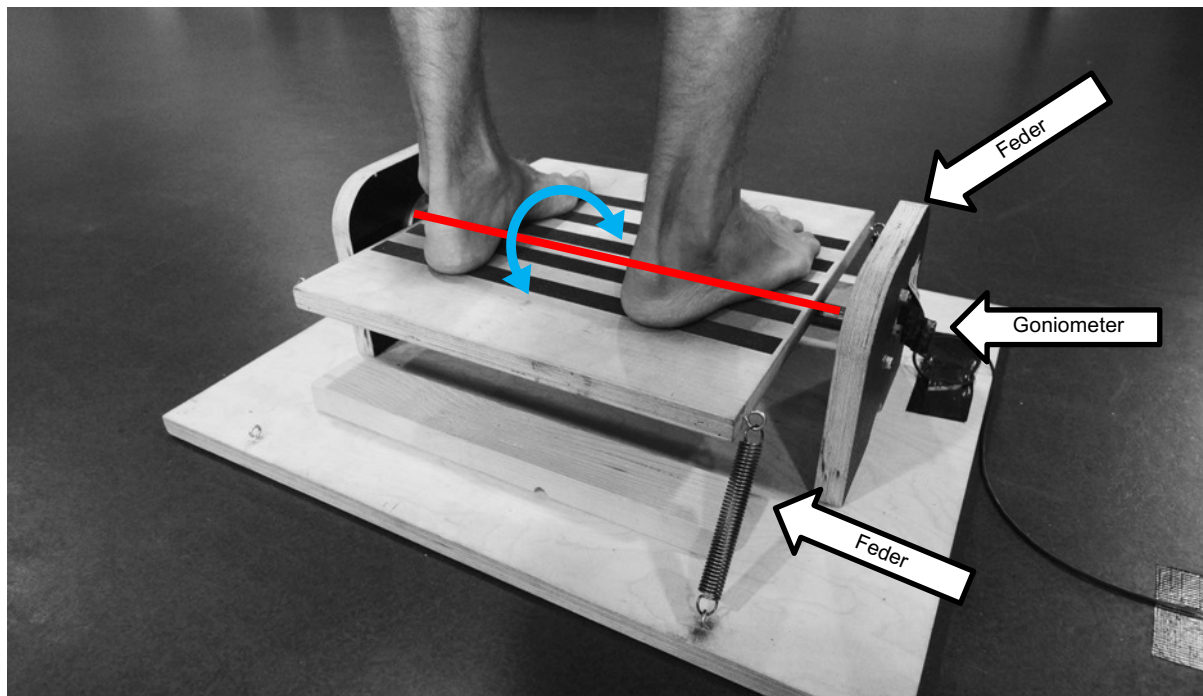


Abbildung 10. Gleichgewichts-Wippe mit Goniometer um die Winkelabweichung zu ermitteln. Die Wippenplatte ist um eine Achse beweglich (rote Linie mit blauen Pfeilen). Zusätzlich sind die Federn ersichtlich, mit welchen das Schwierigkeitsniveau der Task A eingestellt werden konnte.

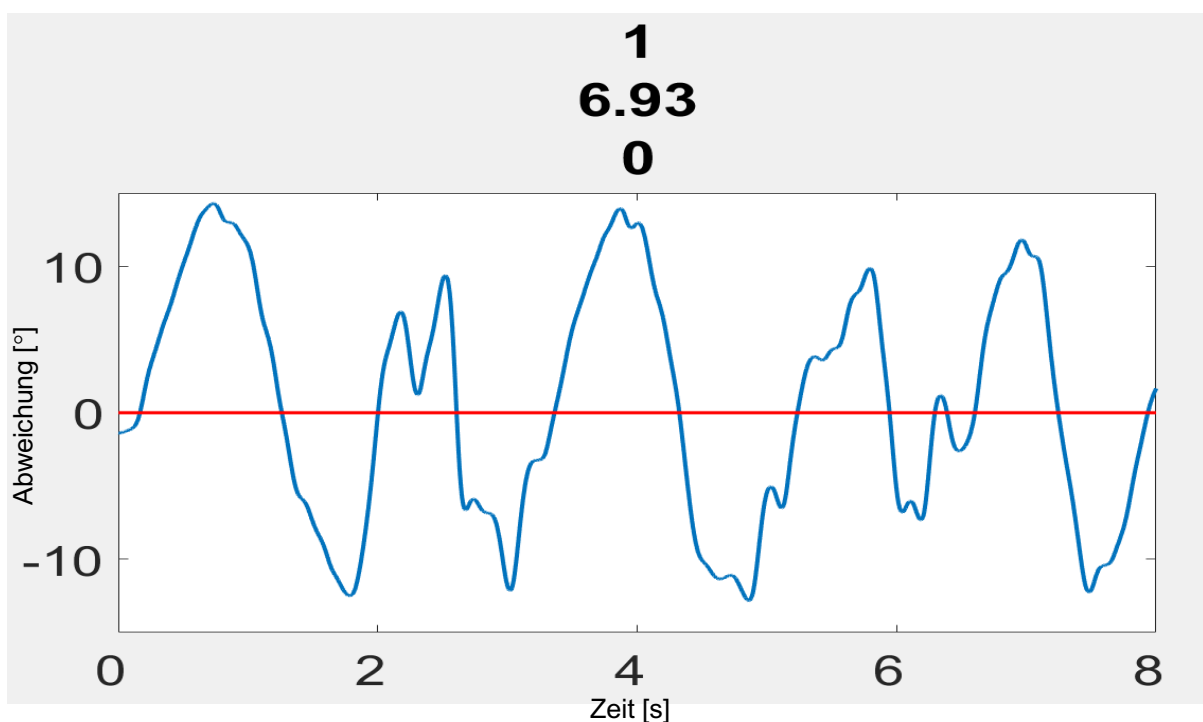


Abbildung 11. Feedback zur Gleichgewichtsaufgabe (Task A) auf der Wippe. Die Zahl 1 steht für den ersten Versuch. 6.93 entspricht der mittleren Gradabweichung vom Nullpunkt (Waagrechte Lage des Wippenbretts). Die Zahl 0 gibt die Zeit in Sekunden an, welche im Endanschlag der Wippe verbracht wurde. Die Kurve stellt die Bewegung der Wippenplatte während einem Versuch dar. Die Nulllinie ist identisch mit der genau waag-rechten Wippenplatte.

**2.2.2 Interferenzaufgabe Ballistic Force Task (Task B-FT).** Die Task B-FT absolvierten die Probanden liegend und mit Schuhen an den Füßen. Dabei war der rechte Fuss in der Neutral-Null-Stellung fixiert. Die Arme wurden auf die Brust gelegt (Abbildung 12).

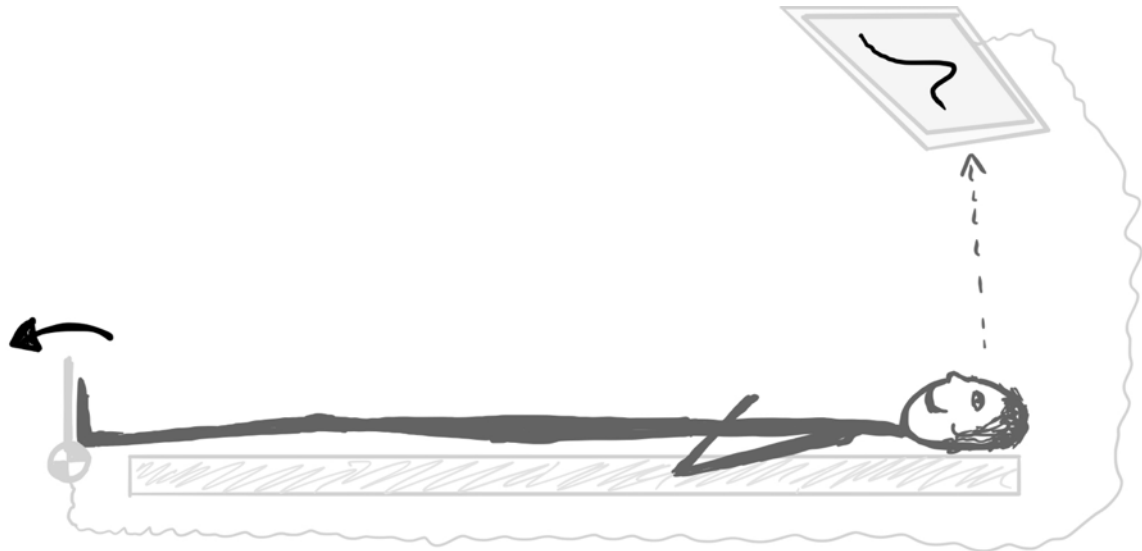


Abbildung 12. Position für die Task B. Die Probanden mussten liegen, der rechte Fuss war am Hebel des isokinetischen Dynamometers fixiert. Das Feedback wurde auf dem Bildschirm über dem Kopf gezeigt.

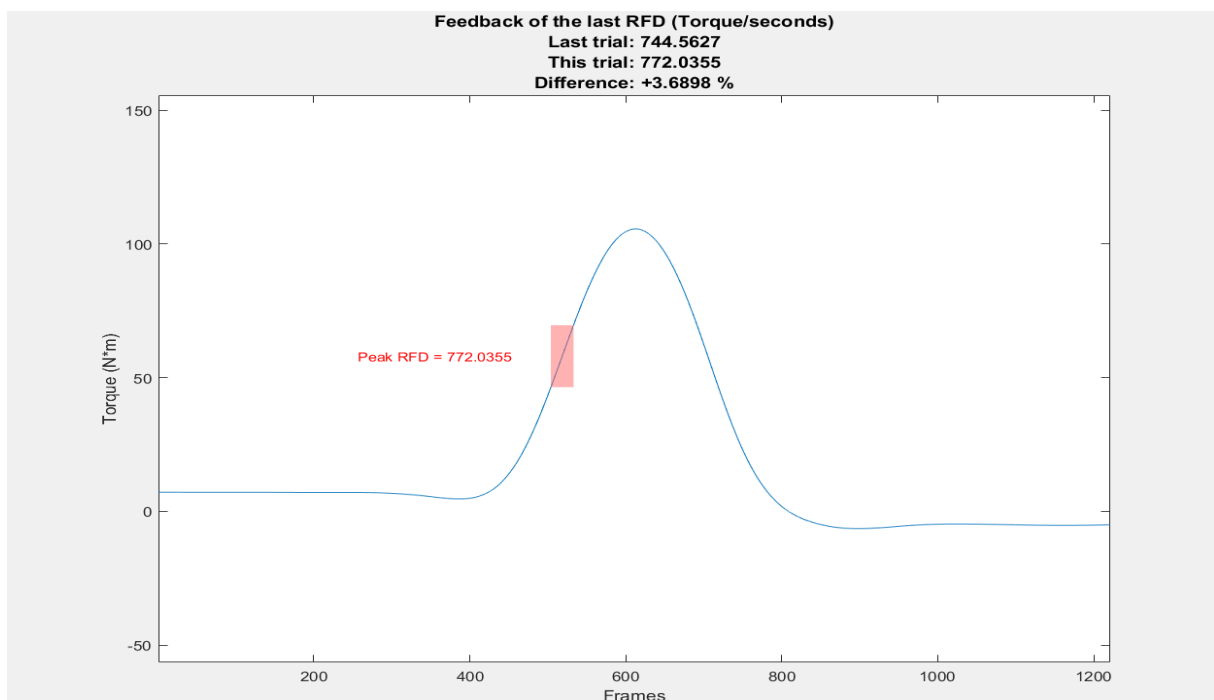


Abbildung 13. Feedback nach jedem Versuch der Ballistic Force Task. In der Grafik werden der Kraftverlauf und der Peak Rate of Force Development (RFD) in Newton pro Sekunde aufgezeigt. Zudem ist die Differenz zum letzten Versuch aufgeführt. Die x- Achse widerspiegelt die Zeit [Frames], die y-Achse stellt das Drehmoment [Newtonmeter] dar. Die Probanden erhielten so ein Feedback zum steilsten Anstieg ihres entwickelten Drehmoments [Nm/s].

Das isokinetische Dynamometer (Kapitel 2.3.2) wurde so eingestellt, dass der Fusshebel der Bewegung Kraft entgegensetzte und so in der gleichen Stellung blieb (isometrisch). Der Drehpunkt des Hebels befand sich auf Höhe des Oberen Sprunggelenks (OSG). Das Ziel war, eine möglichst hohe Kraft innerhalb der kürzest möglichen Zeit aus dem OSG zu entwickeln. Um Krafteinflüsse aus dem restlichen Körper zu minimieren, war es wichtig, dass das rechte Bein bei der Ausführung gestreckt blieb. Die Instruktion lautete wie folgt: «Drücke deinen rechten Fussballen so schnell wie möglich nach vorne.» Als Kommando vor jedem Versuch diente ein simples «Bereit». Danach hatten die Probanden fünf Sekunden Zeit, um die Bewegung auszuführen. Nach jedem Versuch sah der Proband ein Feedback auf dem Bildschirm (Abbildung 13), damit er seine Leistung einschätzen konnte und die Möglichkeit hatte, sich zu verbessern. Nach drei Serien wurde der Sitz des fixierten Fusses kurz gelockert, damit die Durchblutung des Fusses und somit die Leistungsfähigkeit gewährleistet blieb. Wenn die Ausführung fehlerhaft war (Bein nicht gestreckt, zu wenig explosiv) war der Versuch ungültig und wurde wiederholt.

**2.2.3 Interferenzaufgabe Accuracy Task (Task B-AT).** Bei der Task B-AT hatte der Proband die gleiche Liegeposition wie bei der Task B-FT (Abbildung 12). Bei dieser Aufgabe musste ein roter Punkt auf dem Bildschirm mit Fussbewegungen des rechten Fusses gesteuert werden. Die Probanden trugen dabei Schuhe. Je mehr Druck auf den Fussballen erzeugt wurde, desto höher wanderte der Punkt auf dem Bildschirm nach oben. Das Ziel dabei war, während acht Sekunden möglichst genau einer schwarzen Kurve zu folgen, welche sich vom rechten zum linken Bildschirmrand bewegte (Abbildung 14). Es gab vier verschiedene Kurven, welche in randomisierter Abfolge und mit gleicher Häufigkeit pro Serie eingesetzt wurden. Die vier Kurven waren auf Grundlage einer Kurve entstanden, welche horizontal und vertikal gespiegelt wurde. Das isokinetische Dynamometer war dabei ebenfalls auf den isometrischen Modus eingestellt, was heisst, dass der Fusshebel in der gleichen Stellung blieb. Der Drehpunkt des Hebels befand sich auf Höhe des OSG. Der Range wurde auf 10 bis 35 % der maximalen Kraft eingestellt. Die Instruktion lautete wie folgt: «Versuche den roten Punkt möglichst genau auf der schwarzen Kurve zu halten.» Jeder Start einer neuen Serie wurde mit einem «Bereit und Los!» angekündigt, danach folgten die Versuche nach vorgegebenen gleichbleibenden Abständen (Kapitel 2.2). Nach jedem Versuch erhielten die Probanden ein Feedback auf dem Bildschirm, welches sie motivieren sollte, einen möglichst tiefen Root Mean Square zu erreichen (Abbildung 15). Der Root Mean Square wurde vom Softwareprogramm Python (Software Foundation) aus der Abweichung der vorgegebenen Kurve zur aufgezeichneten Linie berechnet. Gleich wie bei Task B-FT wurde nach drei Serien der Sitz des fixierten

Fusses kurz gelockert, damit die Durchblutung des Fusses und somit die Leistungsfähigkeit gewährleistet blieb. Die Aufgabe war so konzipiert, dass eine fehlerhafte Ausführung (nicht gestrecktes Bein) keine Vorteile mit sich brachte und ungültige Versuche hinfällig wurden.

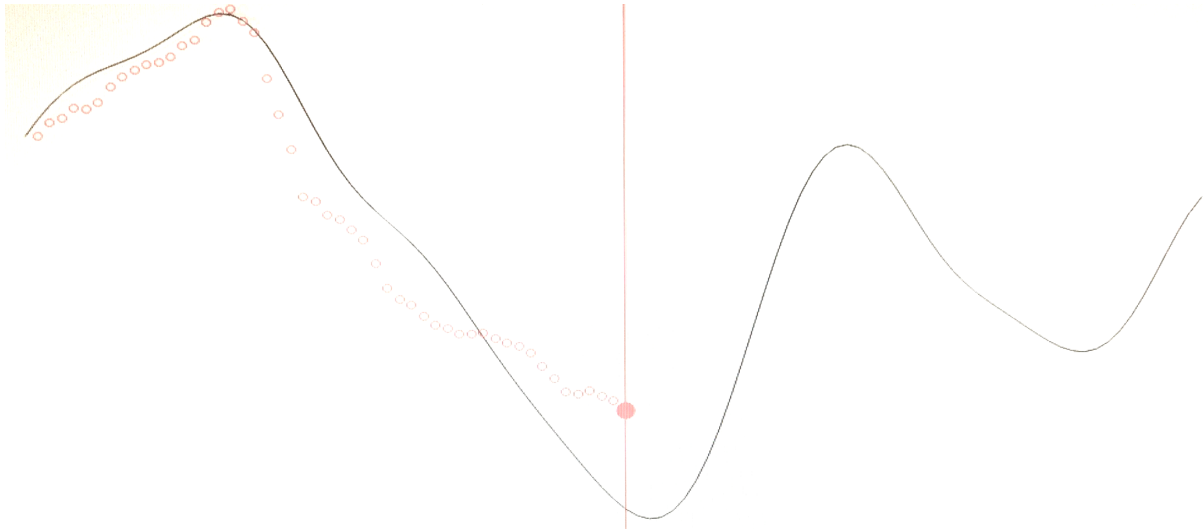


Abbildung 14. Bildschirmausschnitt bei der Accuracy Task. Die Probanden mussten versuchen, mit dem roten Punkt möglichst genau auf der schwarzen Kurve zu bleiben, wobei sich die Kurve von links nach rechts bewegte. Die roten Kreise zeigen den zurückgelegten Weg auf.

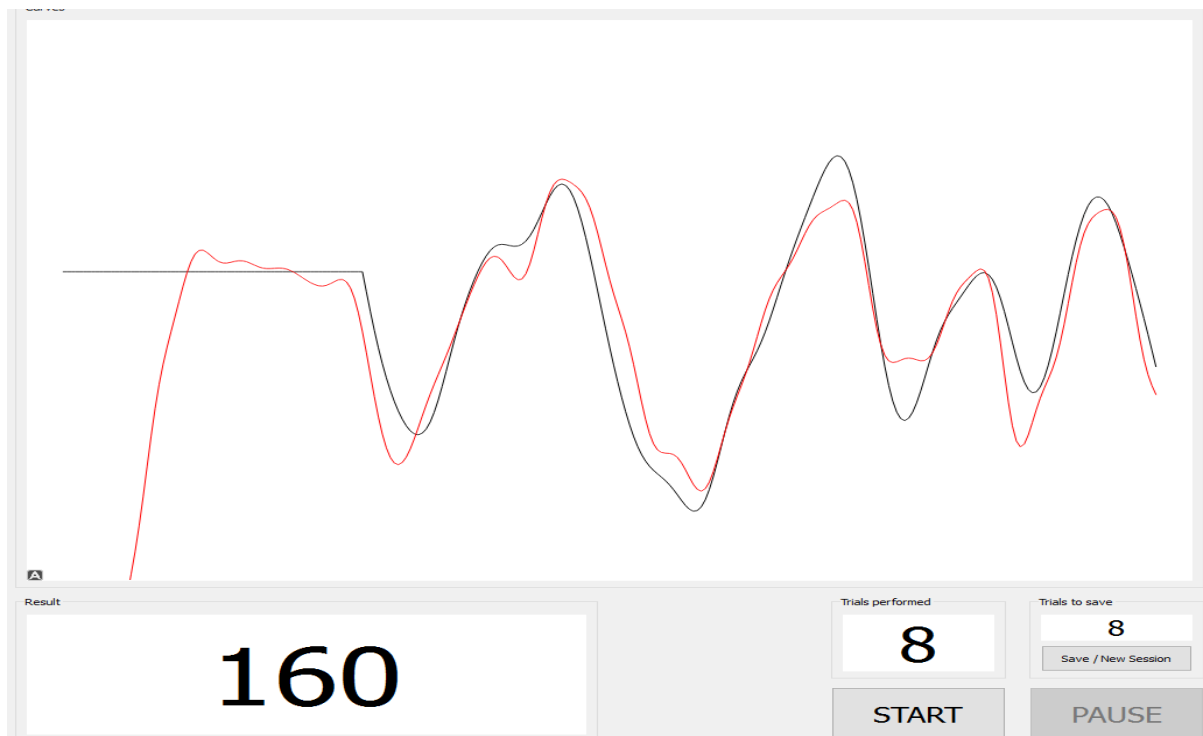


Abbildung 15. Feedback auf die direkt vorherige Leistung bei der Accuracy Task. Links unten im Bild ist der Root Mean Square (160) ersichtlich, welcher möglichst tief sein sollte. Die schwarze Kurve stellt die vorgegebene Linie dar. Die rote Kurve ist der aufgezeichnete Weg, welcher durch die Fussbewegungen zustande kam.



## 2.3 Untersuchungsinstrumente

**2.3.1 Gleichgewichtswippe.** Die Gleichgewichtswippe (selbst hergestellt, Abbildung 10) liess sich in der Sagittalachse bewegen und war mit einem Goniometer ausgestattet. Dieser erfasste die Bewegungen der Wippenplatte und leitete ein Spannungssignal an Imago Record (Pfitec, Endingen, Deutschland) weiter. Mit den aufgezeichneten Daten konnte durch Matlab (R2015a, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) die Winkelabweichung errechnet werden. Die Wippe konnte mithilfe von austauschbaren Federn (Durovis AG, Perlen LU, Switzerland) auf unterschiedliche Schwierigkeitsgrade eingestellt werden. Es wurden drei verschiedene Federn eingesetzt (Federkonstante von 0.3 N/mm, 0.9 N/mm und 1.1 N/mm). Der erste Schwierigkeitsgrad bot am meisten Unterstützung durch die Federn und wurde durch den Einsatz von zwei Federn pro Wippenseite realisiert, was einer Gesamtfederkonstanten von 1.4 N/mm pro Seite entsprach. Für den zweiten Schwierigkeitsgrad wurden pro Seite je eine Feder mit einer Federkonstante von 1.1 N/mm eingesetzt. Der dritte und anspruchsvollste Schwierigkeitsgrad wies mit einer Feder pro Seite eine Federkonstante von 0.9 N/mm auf.

**2.3.2 Isokinetisches Dynamometer.** Für die Task B-FT und die Task B-AT wurde ein isokinetisches Dynamometer (Humac Norm, Computer Sports Medicine Inc., Stoughton, MA, USA) verwendet. Das Dynamometer war in der Lage die Kräfte, welche auf den Hebel wirkten, zu messen und diese als Signal an die Softwareprogramme Imago Record und Matlab weiterzuleiten. Dies erlaubte sowohl die Präsentation eines Feedbacks als auch das Abspeichern der benötigten Parameter für die Datenauswertung.

## 2.4 Datenanalyse

**2.4.1 Datenauswertung.** Für die Datenerhebung wurden die Softwareprogramme Imago Record, Matlab, Python und das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel for PC 2010, Microsoft Corporation, Redmond, USA) verwendet. Von der Task A wurden die Daten der Winkelgeschwindigkeit [ $^{\circ}/s$ ] verwendet, welche aus den aufgezeichneten Rohdaten des Goniometers errechnet wurden. Ungültige Versuche wurden dabei nicht berücksichtigt. Von der Task B-FT wurden die Peak RFD [ $Nm/s$ ] Werte verwendet. Dabei bedeuteten höhere Werte Leistungsverbesserungen. Von der Task B-AT wurde der Root Mean Square verwendet. Diese ergaben sich aus den Abweichungen der aufgezeichneten Fussbewegungen zu der vorgegebenen Kurve. Hier bedeuteten niedrigere Root Mean Square Werte eine Verbesserung der Leistung. Gemäss Lundbye-Jensen et al. (2011) ist für das Auftreten von Interferenz not-

wendig, dass sowohl Task A wie auch Task B Lernaufgaben sind. Deshalb wurde für beide Tasks überprüft, ob ein Lernfortschritt von der ersten bis zur letzten Serie gegeben war. Dafür wurden pro halbe Serie der höchste und der niedrigste Wert entfernt, um Ausreisser auszuschliessen. Pro halbe Serie blieben somit zwei Werte, aus welchen die Mittelwerte errechnet wurden. Mit diesen Mittelwerten konnte in Excel (Microsoft Excel for Mac 2018, Microsoft Corporation, Redmond, USA) ein Liniendiagramm erstellt werden, um einen Lernfortschritt nachzuweisen. Wenn kein Lernfortschritt gegeben war, wurden die Daten der jeweiligen Probanden nicht für die Berechnungen berücksichtigt. Dadurch verringerten sich die Probandenzahlen in den beiden Gruppen (FT-Gruppe  $n = 18$ , AT-Gruppe  $n = 16$ ). Die errechneten Mittelwerte pro halber Serie wurden zudem für die grafische Darstellung der Lernfortschritte im Resultate-Teil verwendet.

**2.4.2 Statistische Analyse.** Das Tabellenkalkulationsprogramm Excel wurde verwendet, um die Mittelwerte und Standardabweichungen zu berechnen und um die Resultate grafisch darzustellen. Die statistische Analyse wurde mit der Statistiksoftware SPSS (IBM SPSS Statistics 19, IBM Corporation, Armonk, USA) durchgeführt. Dabei wurden die ersten vier und die letzten vier Versuche je Gleichgewichtstraining (Pre- und Post-Test) verwendet. Von diesen vier Versuchen wurden der höchste und der tiefste Wert weggestrichen, damit die Ausreisser nicht ins Gewicht fallen. Aus den verbleibenden zwei Werten wurde der Mittelwert ermittelt, welcher weiterverwendet wurde. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung wurde durchgeführt, um signifikante Effekte bei Task A zwischen den Faktoren (Zeitpunkt, Gruppe, Zeitpunkt\*Gruppe) zu identifizieren. Die Daten der Task B wurden mithilfe eines T-Tests für verbundene Stichproben auf signifikante Unterschiede überprüft. Die Signifikanzniveaus für die  $p$ -Werte waren folgendermassen:  $p < 0.001$  = höchst signifikant,  $p < 0.01$  = hoch signifikant,  $p < 0.05$  = signifikant,  $p > 0.05$  = nicht signifikant. Um die Effektstärke der ANOVA einzuordnen, wurde das partielle Eta Quadrat ( $\eta^2_p$ ) verwendet. Es galten folgende Referenzwerte:  $\eta^2_p > 0.02$  = kleiner Effekt,  $\eta^2_p > 0.13$  = mittlerer Effekt,  $\eta^2_p > 0.26$  = grosser Effekt. Um die Effektstärke der Korrelation ( $r$ ) bei den gepaarten T-Tests einzuordnen, wurden folgende Referenzwerte nach Cohen (1992) verwendet:  $r = 0.10$  = kleiner Effekt,  $r = 0.30$  = mittlerer Effekt,  $r = 0.50$  = grosser Effekt.

### 3 Resultate

Die statistische Analyse der Task A (Pre und Post) ergab folgende Resultate. Mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung der Zeitpunkte Pre 1a und Pre 6b konnte ein signifikanter Leistungszuwachs für den Faktor Zeitpunkt ( $F_{1,32} = 46.328$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2_p = .591$ ) gezeigt werden. Für den Faktor Gruppe ( $F_{1,32} = .075$ ;  $p = .785$ ;  $\eta^2_p = .002$ ) und für die Zeitpunkt\*Gruppe Interaktion ( $F_{1,32} = .758$ ;  $p = .390$ ;  $\eta^2_p = .023$ ) hingegen wurden keine signifikanten Unterschiede berechnet. Für die Zeitpunkte Pre 6b und Post 1a ergab die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung für den Faktor Zeitpunkt ( $F_{1,32} = 12.045$ ;  $p = .002$ ;  $\eta^2_p = .273$ ) signifikante Leistungseinbusse. Der Faktor Gruppe ( $F_{1,32} = .005$ ;  $p = .942$ ;  $\eta^2_p = .000$ ) und die Interaktion Zeitpunkt\*Gruppe ( $F_{1,32} = .005$ ;  $p = .946$ ;  $\eta^2_p = .000$ ) wiesen keine signifikanten Effekte auf. Signifikante Leistungssteigerungen konnten mittels der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung zudem zwischen den Zeitpunkten Post 1a und Post 3b für den Faktor Zeitpunkt ( $F_{1,32} = 25.679$ ;  $p < .001$ ;  $\eta^2_p = .445$ ) nachgewiesen werden. Keine signifikanten Effekte wurden für den Faktor Gruppe ( $F_{1,32} = .096$ ;  $p = .759$ ;  $\eta^2_p = .003$ ) und für die Zeitpunkt\*Gruppe Interaktion ( $F_{1,32} = .555$ ;  $p = .462$ ;  $\eta^2_p = .017$ ) gezeigt.

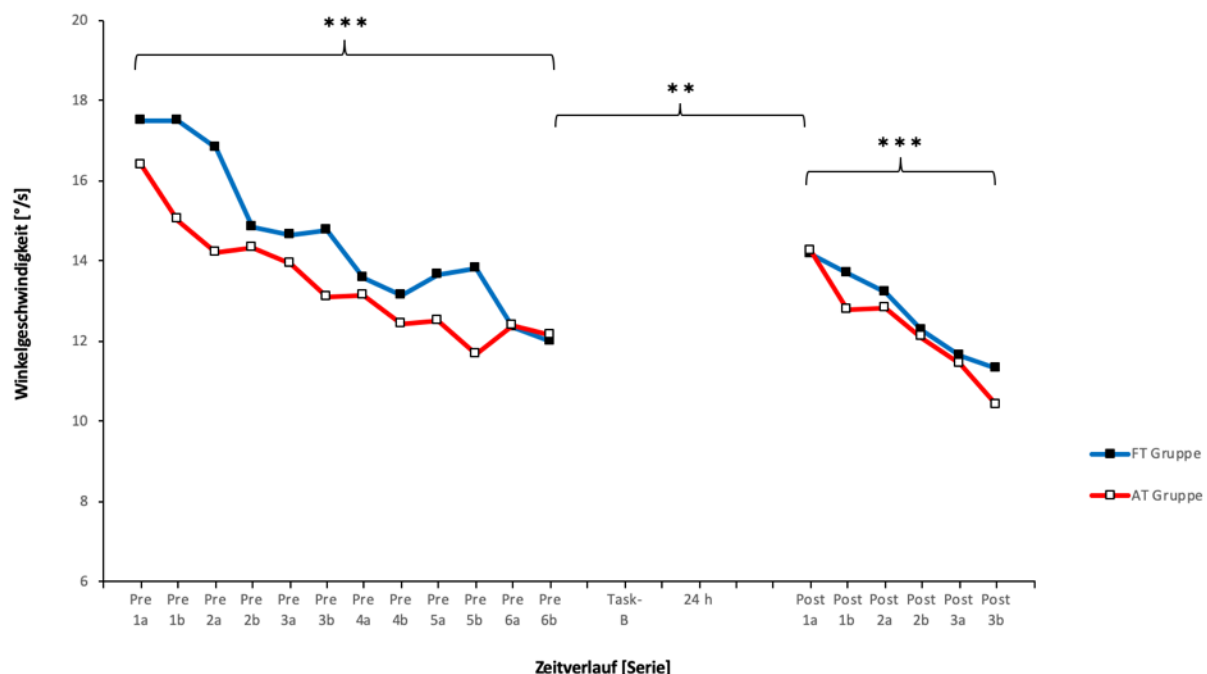


Abbildung 16. Mittelwerte der Winkelgeschwindigkeit von Task A der beiden Gruppen pro halbe Serie. FT = Ballistic Force Task, AT = Accuracy Task, Pre = Vor der Task B, Post = Nach der Task B, a = Erste Hälfte der Serie, b = Zweite Hälfte der Serie, \*\*\* = höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ), \*\* = hoch signifikanter Unterschied ( $p < 0.01$ ). FT Gruppe ( $n = 18$ ), AT Gruppe ( $n = 16$ ).

Die Mittelwerte pro halber Serie der Winkelgeschwindigkeiten von Task A beider Gruppen sind in Abbildung 16 ersichtlich. Der durchschnittliche Leistungszuwachs der Winkelgeschwindigkeiten für beide Gruppen von Pre 1a zu Pre 6b betrug 40.5 %. Der durchschnittliche Leistungszuwachs von Post 1a zu Post 3b war 30.2 %. Abbildung 17 zeigt die normierten Lernfortschritte der beiden Task B (Task B-AT und Task B-FT). Der mittlere Lernfortschritt zwischen den Zeitpunkten 1a und 6b betrug für die Task B-AT 56.9 % und für die Task B-FT 24.8 %.

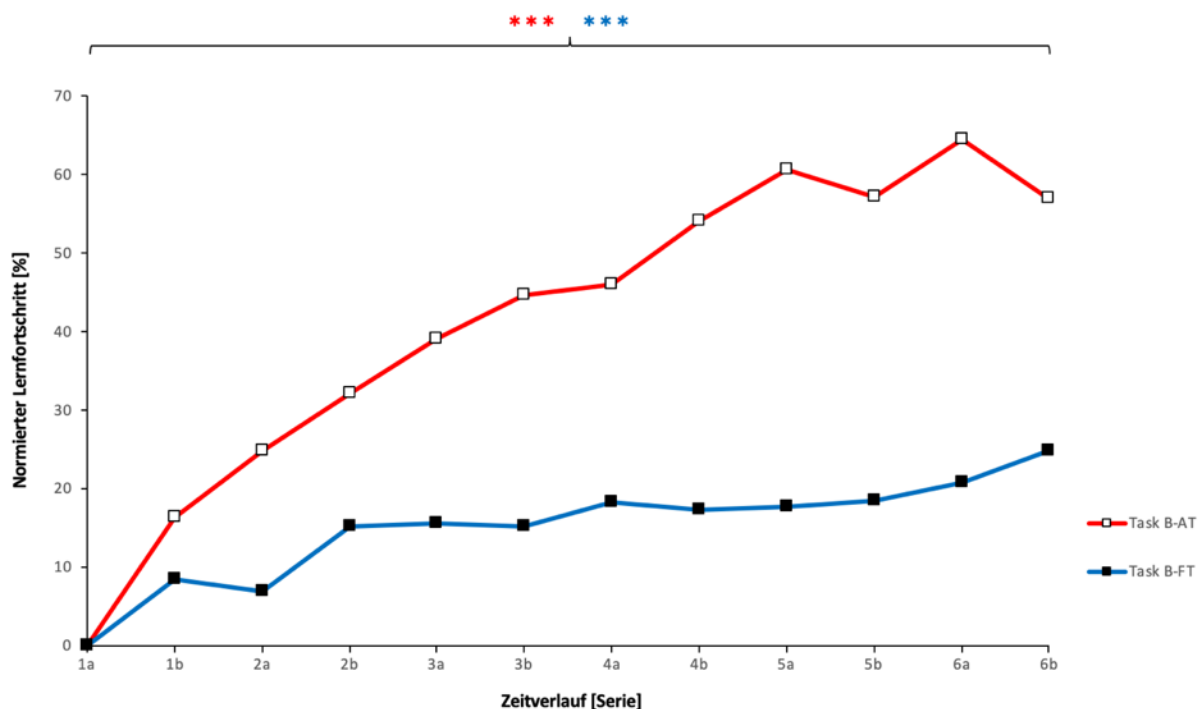


Abbildung 17. Mittelwerte des normierten Lernfortschrittes der beiden Interferenztasks (Task B) pro halbe Serie. FT = Ballistic Force Task, AT = Accuracy Task, a = Erste Hälfte der Serie, b = Zweite Hälfte der Serie, \*\*\* = höchst signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ). FT Gruppe ( $n = 18$ ), AT Gruppe ( $n = 16$ ).

Die statistische Analyse der beiden Task B mit den absoluten Werten lieferte folgende Resultate: Der T-Test für verbundene Stichproben zwischen dem Zeitpunkt 1a und 6b zeigte für Task B-FT ( $t_{19} = -5.771$ ;  $p < .001$ ;  $r = .775$ ) signifikante Leistungsgewinne. Für Task B-AT konnten mittels T-Test mit verbundenen Stichproben zwischen Zeitpunkt 1a und 6b ebenfalls signifikante Leistungsgewinne ( $t_{19} = 6.953$ ;  $p < .001$ ;  $r = .712$ ) festgestellt werden.

## 4 Diskussion

Diese Arbeit untersuchte das Auftreten von Interferenz beim motorischen Lernen. Das Ziel war, herauszufinden, ob komplexe Gleichgewichtslernaufgaben anfällig für Interferenz durch einfache motorische Lernaufgaben sein können. Nach meinem Wissen ist es erst die dritte Untersuchung, welche das Auftreten von Interferenz bei Gleichgewichtsaufgaben zum Thema hatte. Die Studien von Egger (2017) und Giboin et al. (2018) konnten keine Interferenz bei Gleichgewichtsaufgaben aufzeigen.

### 4.1 Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben

Die Resultate zeigen, dass zwischen der letzten Serie von Task A-Pre und der ersten Serie von Task A-Post hoch signifikante Unterschiede für den Faktor Zeitpunkt ( $p = .002$ ) gegeben sind. Die Effektstärke von  $\eta^2_p = .273$  bedeutet einen grossen Effekt dieses Unterschieds zwischen Serie Pre 6b zu Post 1a. Daraus lässt sich schliessen, dass keine vollständige Konsolidierung des Gelernten geschehen ist und dass diese unvollständige Konsolidierung nicht zufällig entstanden ist. Komplexe Gleichgewichtslernaufgaben scheinen also anfällig für Interferenz durch einfache motorische Lernaufgaben. In diesem Falle spielt es keine Rolle, ob die einfache motorische Lernaufgabe eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe (Task B-AT) oder eine ballistische Kraftaufgabe (Task B-FT) war.

Mittels der Resultate können die im Kapitel 1.3 aufgestellten Hypothesen wie folgt verifiziert werden: Die erste Nullhypothese ( $H_10$ : Eine ballistische Kraftaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt nicht zu einer signifikanten Leistungseinbusse.) kann verworfen werden. Ebenfalls nicht bestätigt wurde die zweite Nullhypothese ( $H_20$ : Eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe welche direkt nach einer Gleichgewichtslernaufgabe erlernt wird und die gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung betrifft, führt nicht zu einer signifikanten Leistungseinbusse.) Folglich können beide Alternativhypothesen bestätigt werden.

Entgegen der Ergebnisse von Egger (2017) und Giboin et al. (2018) scheint auch bei Gleichgewichtslernaufgaben Interferenz aufzutreten, wenn die Interferenztask mit den gleichen Muskeln und in gleicher Bewegungsrichtung erlernt wird. Ein Grund für die Abweichung zu den Resultaten der anderen beiden Studien könnte in den Trainingsmodalitäten der Gleichgewichtslernaufgabe liegen. Während bei Egger (2017) sowohl Pre und Post Test am gleichen Tag durchgeführt wurden, betrug die Retentionsphase in der vorliegenden Untersuchung 24 Stunden. Einige wichtige Punkte, wieso bei Giboin et al. (2018) keine Interferenz nachgewiesen werden konnte, wurden im Kapitel 1.2.4 bereits erläutert. Dazu gehört der fehlende Nachweis, dass bei beiden Aufgaben Lernfortschritte erzielt wurden. Zudem könnte das sogee-

nannte Sättigungslernen gemäss Krakauer (2009) beim zweiten Experiment Giboin et al. (2018) mitverantwortlich gewesen sein, dass die Konsolidierung verbessert und die Möglichkeit für Interferenz verringert wurde. Ein weiterer, möglicherweise entscheidender Unterschied liegt in der Tatsache, dass die Interferenztasks anders waren. Sowohl Egger (2017) wie auch Giboin et al. (2018) haben als Task B ganzheitliche, komplexe Gleichgewichtslernaufgaben gewählt. In dieser Arbeit wurde in Anlehnung an Lundbye-Jensen et al. (2011) jedoch isolierte, einfache motorische Lernaufgabe als Task B eingesetzt. Dies, weil gemäss Muellbacher et al. (2002) komplexe Lernaufgaben weniger anfällig für Interferenz seien. Nicht auszuschliessen ist, dass die signifikante Leistungseinbusse zwischen Task A-Pre und Task A-Post in dieser Untersuchung ganz einfach durch einen normalen Lernverlust über die 24 Stunden zustande gekommen ist. Solange keine Daten einer Kontrollgruppe vorliegen, ist eine Interferenz durch Task B nicht zu beweisen.

#### **4.2 Lernfortschritte Task A und Task B**

Um Interferenz hervorzurufen, müssen nach der Studie von Lundbye-Jensen et al. (2011) sowohl Task A als auch Task B Lernaufgaben sein. Wie die Resultate gezeigt haben, sind die Leistungsfortschritte bei den Winkelgeschwindigkeiten der Wippe sowohl von Task A Pre (+40,5 %) wie auch Task A Post (+30,2 %) höchst signifikant. Dies lässt den Schluss zu, dass Task A eine Lernaufgabe ist. Ebenfalls höchst signifikant waren die normierten Lernfortschritte bei Task B-AT und Task B-FT. Aus diesem Grund darf auch hier von Lernaufgaben gesprochen werden. Im Methodenteil wurde beschrieben, dass diejenigen Probanden, welche in Task A oder Task B keinen Lernfortschritt erzielen konnten, nicht für die Datenanalyse berücksichtigt wurden. Um falsche Rückschlüsse auf die Lernfortschritte zu vermeiden, wurde die zweifaktorielle ANOVA mit den Daten aller Probanden zur Kontrolle durchgeführt. Dabei konnten ebenfalls höchst signifikante Lerngewinne festgestellt werden. Dies bestätigt, dass von Lernaufgaben gesprochen werden kann, auch wenn gewisse Probanden keine Fortschritte erzielen konnten. Dass die Lernfortschritte bei diesen Aufgaben durch das Augmented Feedback begünstigt worden ist, scheint plausibel (Keller, Lauber, Gehring, Leukel, & Taube, 2014).

Was auffällt: Die normierten Lernfortschritte bei Task B-AT (56.9 %) waren im Gegensatz zu Task B-FT (24.8 %) mehr als doppelt so hoch. Hier taucht die Frage auf, weshalb bei der Task B-AT grössere Fortschritte als bei Task B-FT erzielt wurden. Möglicherweise beschränkten bei Task B-FT die körperlichen Voraussetzungen einen weiteren Leistungsfortschritt. Zudem könnte durch die Aufgabenstellung und das damit verbundene unterschiedliche Augmented Feedback Abweichungen entstanden sein. Das heisst, die Probanden mit Task B-

AT hatten für jede noch so kleine Bewegung ihres Fusses ein Augmented Feedback (Abbildung 14) und zusätzlich am Ende jedes Versuches eine Rückmeldung zu ihrer Leistung in Form der aufgezeichneten Kurve und des Root Mean Square (Abbildung 15). Bei Task B-FT war das Augmented Feedback jedoch auf das Ende jedes Versuches beschränkt (Abbildung 13). Eine andere Erklärung dafür könnte sein, dass die Motivation für eine persönliche Verbesserung bei Task B-AT durch den spielähnlichen Charakter höher war.

Obwohl die normierten Lernfortschritte grosse Unterschiede aufwiesen, schien sich dieser Umstand nicht auf die Retention auszuwirken. Interessanterweise waren die signifikanten Effekte zwischen Zeitpunkt Pre 6b und Post 1a, also vor und nach Task B, bei beiden Gruppen praktisch identisch ( $p = .942$ ).

### **4.3 Stärken und Schwächen der Studie**

Als Stärke dieser Untersuchung kann die relativ hohe Zahl von 20 Probanden pro Gruppe bezeichnet werden. Zudem wurde das Studiendesign und die Aufgaben soweit als möglich an die Erkenntnisse von Studien angelehnt, welche bereits Interferenz bei motorischen Lernaufgaben nachweisen konnten (Brashers-Krug et al., 1996; Lundbye-Jensen et al., 2011). Dabei wurde insbesondere Wert darauf gelegt, Task B möglichst kurz nach Task A zu erlernen, was nach Brashers-Krug et al. (1996) Voraussetzung dafür ist, dass Interferenz auftreten kann. Task B-AT und Task B-FT waren dabei sehr ähnlich wie die beiden Aufgaben bei Lundbye-Jensen et al. (2011), mit welchen Interferenz nachgewiesen werden konnte. Aber auch die Hinweise aus der Studie von Egger (2017) wurden bei der Umsetzung berücksichtigt. So wurde versucht, die komplexe Gleichgewichtslernaufgabe und die einfachen motorischen Lernaufgaben aufeinander abzustimmen. Mittels der Gleichgewichtswippe und dem fixierten Fuss bei Task B, welche sich in die gleiche Richtung bewegen liessen, scheint diese Abstimmung geklappt zu haben. Das Ziel war dabei, möglichst wenige Muskeln zu involvieren und diesen nur kleine Bewegungsumfänge zu ermöglichen. Diesen Aspekt haben Muellbacher et al. (2002) wie auch Wulf and Shea (2002) hervorgehoben. Sie konnten aufzeigen, dass Interferenzeffekte bei einfachen Lernaufgaben grösser ausfielen, als bei komplexen Lernaufgaben. Die Komplexität bei Task A war zwar immer noch gegeben, jedoch konnte diese bei beiden Task B auf ein Minimum reduziert werden. Ausserdem wurde in dieser Untersuchung im Blocktraining gelernt (A-B-A), was nach Robertson et al. (2004) Interferenz eher begünstigt als ein Training in mehreren kleineren, randomisiert angelegten Sequenzen.

Um den Resultaten eine grosse Aussagekraft zu verleihen, wäre die Bestätigung durch eine Kontrollgruppe notwendig. Dies gilt aus meiner Sicht als grösste Schwäche der Studie. Zudem konnte nur angenommen werden, dass bei Task A und Task B die gleichen Muskeln in-

volviert sind. Um das zu bestätigen, müssten das Elektromyogramm (EMG) der entsprechenden Muskeln bei beiden Lernaufgaben aufgezeichnet und die Übereinstimmung verifiziert werden. Eine weitere Schwäche dieser Studie könnte sein, dass die Resultate nur junge Erwachsene zwischen 18 und 40 Jahren betreffen. Ob die Erkenntnisse auch auf Kinder und ältere Erwachsene zutreffen, bleibt offen. Ein Kritikpunkt an der Durchführung der Studie könnte sein, dass Task A und Task B nicht in der gleichen Körperlage ausgeführt wurden. Task A wurde in aufrechter Position erlernt, wobei Task B-AT und Task B-FT in liegender Position ausgeführt wurden. Sowohl deutlichere Interferenz als auch eine Abschwächung der Resultate bei einer Anpassung dieses Umstandes sind nicht ausgeschlossen, können aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht wissenschaftlich belegt werden. Ein weiterer Punkt am Studiendesign ist diskussionswürdig: Die Gleichgewichtsaufgabe wurde unter Verwendung von beiden Körperseiten erlernt. Die beiden Interferenzaufgaben waren jedoch auf die rechte Seite beschränkt. Hier stellt sich die Frage, ob andere Ergebnisse resultiert hätten, wenn diese Aufgaben mit der linken Seite oder gar mit beiden Füßen gleichzeitig ausgeführt worden wären.

#### **4.4 Ausblick**

Um den angesprochenen Schwächen der Studie gerecht zu werden, sind weiterführende Untersuchungen mit ähnlichem Studiendesign sinnvoll. Als nächstes ist sicher der Einbezug einer Kontrollgruppe notwendig, welche ebenfalls Task A Pre und Post absolviert, aber keine Task B erlernt. Denkbar wäre auch, dass die Kontrollgruppe als Task B eine Nichtlernaufgabe ausführt, wie sie bei Lundbye-Jensen et al. (2011) beschrieben ist. Falls die Kontrollgruppe ebenfalls eine ähnliche Leistungseinbusse über die Konsolidierungsphase (Pre 6b bis Post 1a) aufweisen würde, könnten die Interferenztasks wohl nicht für die mangelhafte Konsolidierung verantwortlich gemacht werden. Falls die Leistungseinbusse gering bleiben und zwischen der Kontrollgruppe und den beiden anderen Gruppen ein signifikanter Unterschied am Zeitpunkt Post 1a gemessen werden könnte, würde das die Resultate in dieser Studie bestätigen. Den unter Kapitel 4.3 angesprochenen Punkt, dass die Körperlage bei Task A und B nicht gleich war, könnte bei der Durchführung eine Nachfolgeuntersuchung aufgegriffen werden. Denkbar wäre, die beiden verschiedenen Task B im Stand zu absolvieren. Sehr elegant wäre dabei, diese Aufgaben mit beiden Füßen gleichzeitig auszuführen. Dafür könnten die Probanden auf einer der Wippe ähnlichen Platte stehen.

Damit mit Sicherheit von den gleichen Muskeln in der gleichen Bewegungsrichtung gesprochen werden kann, ist eine Aufzeichnung der Muskelaktivität mittels EMG für nachfolgende Untersuchungen sinnvoll. Zusätzlich wäre eine Gruppe sinnvoll, bei welcher an Stelle der Interferenztask rTMS zum Einsatz kommen würde. Das bedeutet, dass den Probanden nach



der Gleichgewichtslernaufgabe rTMS über dem primär motorischen Kortex (M1) appliziert wird, so wie Muellbacher et al. (2002) und Lundbye-Jensen et al. (2011) dies gemacht haben. Wenn die Leistung der erlernten Gleichgewichtsaufgabe nach der Anwendung von rTMS schlechter ausfallen würde, könnte M1 entscheidend für die Konsolidierung mitverantwortlich sein. Wäre dies nicht der Fall, müsste davon ausgegangen werden, dass andere Strukturen wie beispielsweise die Basalganglien, das Kleinhirn, der Hirnstamm oder das Rückenmark für die zeitnahe Konsolidierung einer Gleichgewichtsaufgabe verantwortlich wären (Taube et al., 2008). Damit könnte ein weiterer Teil der Studie von Lundbye-Jensen et al. (2011) für Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben verifiziert oder falsifiziert werden.

Mit der vorliegenden Untersuchung kann auch keine Aussage über die Langzeit-Retention der erlernten Aufgaben gemacht werden. Hier wären Studiendesigns mit Langzeit-Retention Tests nach beispielsweise 30 Tagen notwendig, wie sie beispielsweise Abe et al. (2011) bei Bewegungslernaufgaben verwendet hat. Darüber hinaus wäre es sicher hilfreich zu wissen, ob eine mögliche Interferenz auch über längere Zeit bei wiederkehrenden Trainingssessions von Task A und Task B auftreten könnte.

## 5 Schlussfolgerung

Die Resultate haben gezeigt, dass Interferenz bei einer Gleichgewichtslernaufgabe aufzutreten scheint, wenn unverzüglich darauf eine einfache motorische Lernaufgabe mit der gleichen Muskulatur in der gleichen Bewegungsrichtung erlernt wurde. Diese einfache motorische Lernaufgabe konnte sowohl eine visuomotorische Genauigkeitsaufgabe als auch eine ballistische Kraftaufgabe sein.

Soweit bekannt, ist es die erste Studie, welche Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben nachweisen konnte. Es sind weitere Untersuchungen mit erweitertem Studiendesign nötig, um diese Ergebnisse zu bestätigen. Dazu gehört das Hinzufügen einer Kontrollgruppe, sowie einer Gruppe, welche anstelle der Interferenztask rTMS über dem primär motorischen Kortex appliziert bekommt. Ebenfalls notwendig wäre die Aufzeichnung der Muskelaktivität bei allen Aufgaben mittels EMG, um die Muskel- und Bewegungsspezifität zu beweisen. Eine Ausweitung auf verschiedene Altersstufen und mit anderen Gleichgewichtsaufgaben und Interferenztasks wäre sinnvoll. Dabei wären insbesondere Interferenztasks interessant, welche Gleichgewichtsaufgaben beinhalten. Falls durch solche Studien die Erkenntnisse dieser Untersuchung bestätigt werden können, ist eine Anpassung von herkömmlichen Gleichgewichtstrainings in Betracht zu ziehen.

## Literatur

- Abe, M., Schambra, H., Wassermann, E. M., Luckenbaugh, D., Schweighofer, N., & Cohen, L. G. (2011). Reward improves long-term retention of a motor memory through induction of offline memory gains. *Current Biology*, 21(7), 557-562.
- Adams, J. A. (1971). A Closed-Loop Theory of Motor Learning. *Journal of Motor Behavior*, 3(2), 111-150. doi:10.1080/00222895.1971.10734898
- Brashers-Krug, T., Shadmehr, R., & Bizzi, E. (1996). Consolidation in human motor memory. *Nature*, 382(6588), 252.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155.
- 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
- Egger, S. (2017). *Zeitnah, nacheinander im Block trainierte Gleichgewichtslernaufgaben führen bei jungen Erwachsenen zu keiner Interferenz*. (Masterarbeit). Universität Fribourg. Fribourg.
- 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.
- Giboin, L.-S., Gruber, M., & Kramer, A. (2015). Task-specificity of balance training. *Human Movement Science*, 44(Supplement C), 22-31. doi:https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.08.012
- Giboin, L.-S., Gruber, M., & Kramer, A. (2018). Additional Intra- or Inter-session Balance Tasks Do Not Interfere With the Learning of a Novel Balance Task. *Frontiers in physiology*, 9, 1319-1319. doi:10.3389/fphys.2018.01319
- Granacher, U., Gollhofer, A., & Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport*, 81(3), 245-251. doi:10.1080/02701367.2010.10599672
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L., & Gollhofer, A. (2011). Can Balance Training Promote Balance and Strength in Prepubertal Children? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1759-1766. doi:10.1519/JSC.0b013e3181da7886
- 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

- 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
- Keller, M., Lauber, B., Gehring, D., Leukel, C., & Taube, W. (2014). Jump performance and augmented feedback: Immediate benefits and long-term training effects. *Human Movement Science*, 36, 177-189.
- Krakauer, J. W. (2009). Motor learning and consolidation: the case of visuomotor rotation. *Adv Exp Med Biol*, 629, 405-421. doi:10.1007/978-0-387-77064-2\_21
- Krakauer, J. W., Ghez, C., & Ghilardi, M. F. (2005). Adaptation to visuomotor transformations: consolidation, interference, and forgetting. *Journal of Neuroscience*, 25(2), 473-478.
- Kummel, 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
- Lewis, D., & Miles, G. H. (1956). Retroactive Interference in Performance on the Star Discrimeter as a Function of Amount of Interpolated Learning. *Perceptual and Motor Skills*, 6(3), 295-298. doi:10.2466/pms.1956.6.3.295
- Lundbye-Jensen, J., Petersen, T. H., Rothwell, J. C., & Nielsen, J. B. (2011). Interference in ballistic motor learning: specificity and role of sensory error signals. *PLoS One*, 6(3), e17451.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory-a century of consolidation. *Science*, 287(5451), 248-251.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre-Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*: Meyer & Meyer Verlag.
- Morita, Y., Ogawa, K., & Uchida, S. (2016). Napping after complex motor learning enhances juggling performance. *Sleep Sci*, 9(2), 112-116. doi:10.1016/j.slsci.2016.04.002
- Muellbacher, W., Ziemann, U., Wissel, J., Dang, N., Kofler, M., Facchini, S., . . . Hallett, M. (2002). Early consolidation in human primary motor cortex. *Nature*, 415(6872), 640-644. doi:10.1038/nature712
- Müller, G. E., & Pilzecker, A. (1900). *Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis* (Vol. 1). Leipzig: JA Barth.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O. E., & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med*, 13(2), 71-78.

- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nat Rev Neurosci*, 5(7), 576-582. doi:10.1038/nrn1426
- Schmidt, R. A., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. (2018). *Motor Control and Learning, 6E*: Human Kinetics.
- 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.
- Taube, W., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol (Oxf)*, 193(2), 101-116. doi:10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., & Gollhofer, A. (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med*, 28(12), 999-1005. doi:10.1055/s-2007-964996
- Taube, W., Lorch, M., Zeiter, S., & Keller, M. (2014). Non-physical practice improves task performance in an unstable, perturbed environment: motor imagery and observational balance training. *Front Hum Neurosci*, 8, 972. doi:10.3389/fnhum.2014.00972
- Wulf, G., & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychon Bull Rev*, 9(2), 185-211.d

# Anhang

## Probandenblatt



UNIVERSITÉ DE FRIBOURG  
UNIVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT  
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

### Interferenzstudie bei Gleichgewichtslernaufgaben 1. Tag

Name		Vorname		
E Mail		Resultate	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
Datum/Zeit		Alter		
Grösse (m)		Gewicht (kg)		
Gruppe	<input type="checkbox"/> Tracking	<input type="checkbox"/> Kraft	Dominante Seite	<input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> R
Code-Nr.		Level Wippe		

#### Kalibration + Einstellungen

Wippe	<input type="checkbox"/>	Gain Isokinet	<input type="checkbox"/>
-------	--------------------------	---------------	--------------------------

#### Niveau Wippe

Feder 11+3	<input type="checkbox"/>	Feder 11	<input type="checkbox"/>	Feder 9	<input type="checkbox"/>
Feder 11+3	<input type="checkbox"/>	Feder 11	<input type="checkbox"/>	Feder 9	<input type="checkbox"/>

#### Wippe (Pre) 6 Serien à 8 x 8 sec (1' interserielle Pause)

Versuch	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	5. Serie	6. Serie
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5' Pause

#### Interferenztask Tracking (Gain=20480) o. Kraft (Gain=1024) (1/2' interserielle Pause)

Versuch	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	5. Serie	6. Serie
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Interferenzstudie bei Gleichgewichtslernaufgaben 2. Tag

Datum/Zeit	
------------	--

### Kalibration

Wippe	<input type="checkbox"/>
-------	--------------------------

### Niveau Wippe

Feder 11+3	<input type="checkbox"/>	Feder 11	<input type="checkbox"/>	Feder 9	<input type="checkbox"/>
Feder 11+3	<input type="checkbox"/>	Feder 11	<input type="checkbox"/>	Feder 9	<input type="checkbox"/>

### Wippe (Post/Retention) 3 Serien à 8 x 8 sec (1' interserielle Pause)

Versuch	1. Serie	2. Serie	3. Serie
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Bemerkungen

--

## Ablauf Messungen

### 1. Computer/ Bildschirme einschalten:

- 1x Computer 1
- 3x Computer 2 nach vorgegebenem Ablauf / 2 Sekunden zwischen einzelnen Schritten
- Gerät kontrollieren: Analog zu digital

---

### 2. Computer 1 und Wippe bereit

Login: SchaerNa, PW, (mit Internet verbinden)

Imago: 1. Fenster: Load -> Nathanael.set -> Ok, Kontrolle Torque, Trigger, Wippe grün -> Continue  
2. Fenster: Load -> Nathanael\_Setup.set -> Ok  
3. Fenster: Measure -> Filename (z.B.: int\_02\_cal)

#### Kalibrierung:

- 20kg auf Seite gegen Türe
- RECORD!
- Trigger (ca 5 s.)
- 20 kg auf anderer Seite
- Trigger (ca. 5 s.)
- STOP
- 20 kg auf Stuhl
- ☒

Matlab: „Cal“ eingeben, Enter, File auswählen (z.B. int\_02\_cal)  
Kontrolle Kalibrierung: cal\_w1 und cal\_w2: Zahlen vorhanden (ca. 48 und 43)

---

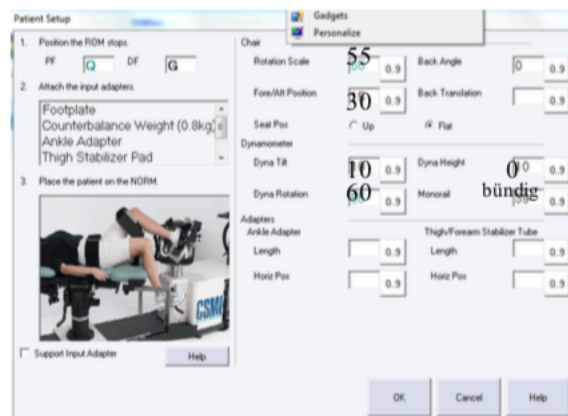
### 3. Computer 2 und Isokin bereit

Login labo -> PW: Labo2014

Researchkr: PW: reserchtk  
Initialize Controller -> Toolkit

#### Vorbereitung:

- mechanische Einstellung von allen Teilen kontrollieren



- Reset, Mechanischer Stopper weg, Hebel auf 0, -> Self Test -> („klicken“), Hebel nach oben, Stopper setzen, Fußstütze montieren
- AUX: **Gain** !: 1024 für RFD, 20480 für Tracking, Rectify (kein Haken), -> Set Mode
- ☒



#### 4. Proband empfangen

- Uhr drücken
  - Instruktion:
    - Gleichgewichtslernaufgabe (Wippe schon benutzt? ->Notiz auf Probandenblatt)
    - Aufgabe mit Fusstrecker
    - Dauer (90 min /30 min)
    - Ziel der Studie: Aufklärung am 2. Tag
    - Getränke/ Snacks
  - Kopf des Probandenblatt ausfüllen
  - Wippe barfuss
- 

#### 5. Messung Niveau Wippe

Imago: - Measure -> Filename (z.B. int\_02 niveau) ->RECORD!

Instruktion:

- Ziel: Brett möglichst in waagrechter Position halten
- Kreuz an der Wand als Hilfe
- Auf Brett bleiben, sonst Fehlversuch, Lieber auf Anschlag gehen
- Nicht halten!
- Nach jedem Versuch (8 s) runter von Brett, Feedback auf Computer, **Pause (25 -30 s)**
- Kommando: „bereit und Los!“, TRIGGER!

Nach 1. Versuch: - ☒  
- Matlab: -> „niveau“ und Enter-> binfile anwählen -> „niveau“ und Enter  
- Feedback anschauen, Fenster schliessen

Jeder weitere Versuch: - ☒  
- Matlab öffnen, -> Pfeiltaste nach oben -> Enter  
- Feedback anschauen, Fenster schliessen

2x Feder 11 und 3, 2x Feder 11, 2x Feder 9, dann STOP

Bedeutung Feedback: - Versuch  
- Durchschnittliche Abweichung Grad  
- Sekunden im Anschlag

Jedesmal Trigger drücken, Sonst Bemerkung auf Probandenblatt

---

#### 6. Messung Wippe

Mit Feder Nr. 9

Imago: Measure -> filename (z.B. int\_02\_wippe) ->RECORD!

Instruktion: 6 Serien à 8 Versuche  
Bereit und Los, TRIGGER jedesmal drücken!

Nach 1. Versuch: - ☒  
- Matlab ->“wippe“ und Enter ->binfile anwählen ->“wippe“ und Enter  
- Feedback anschauen, Fenster schliessen

Jeder weiteren Versuch: - ☒  
- Matlab öffnen, -> Pfeiltaste nach oben -> Enter  
- Feedback anschauen, Fenster schliessen

Nach letztem Versuch: - STOP

---

## 7a. Messung RFD mit Isokin

(Computer 2, Researchtkrr., Vorbereitungen ausgeführt, **Gain gewechselt!**)

- Proband hinsetzen, Drehpunkt einstellen, Fest anziehen, Ferse hinten
  - Set Mode (Signal) ->Setup -> Clear Range
  - Proband muss ganzer Range ausführen ->Set Range
  - Fuss des Probanden 90° ->Set Setpoint
  - ISOM -> Set Mode (Signal), (Geht der Fuss über Setpoint, bleibt er stehen)
  
  - Instruktion:
    - Liegen, Arme auf Brust, Beine gestreckt
    - So schnell/explosiv wie möglich!
    - Etwas unter Fussballen zerdrücken
    - Feedback nach jedem Versuch auf Bildschirm-> möglichst hohe Zahl
    - Blitzschnell drücken, 5 S. warten, Feedback, Blitzschnell drücken
  
  - Imago:
    - >Measure -> Filename (z.B. int\_02\_rfd\_fam) ->Continue
    - RECORD!
    - 3 Testversuche und Kontrolle der Ausführung
    - STOP
  - Matlab:
    - >„fam\_int“ -> Enter -> Schwelle kontrollieren und evtl. anpassen\*
  
    - \* Codefile „fam\_int“ öffnen (Reiter oben), Treshold einstellen z.B. 30 ->Save
    - Command-Feld: fam\_int -> Enter, Kontrolle der neuen Schwelle
    - Codefile „rfd“ öffnen (Reiter oben), Treshold einstellen z.B. 30 -> Save
  
    - (Falls Reiter nicht dort, Codefiles im Matlab-Ordner)
  
  - Imago:
    - >Measure -> Filename (z.B. int\_02\_rfd) ->Continue
    - RECORD!
    - 1. Versuch ausführen, ☒
  
  - Matlab:
    - „weg“, Enter
    - „rfd“, ->Enter -> First trial? ->Yes ->File öffnen (z.B. INT\_02 RFD.BIN)
    - Imago: Kontrolle RECORD
  
    - 2. Versuch, ☒, Matlab: „rfd“, Enter, First trial? ->No, (Feedback wird angezeigt)
    - 3. Versuch, ☒, 5 S. warten->Enter (Feedback)
    - .....☒
    - 8. Versuch, ☒,5 S. warten,->Enter (Feedback), RECORD, 2 Min Pause
  
    - Vor nächster Serie: RECORD!
  
    - (Schuh lockern nach 3 Serien)
    - (bei falscher Ausführung: Fehlermeldung -> Versuch einfach wiederholen)
  
    - Nach 48 Versuchen: STOP
-

## 7b. Messung Genauigkeit mit Isokin

(Computer 2, Researchtkrr., Vorbereitungen ausgeführt, **Gain gewechselt!**)

- Imago schliessen.

- Proband hinsetzen, Drehpunkt einstellen, Fest anziehen, Ferse hinten
- Set Mode (Signal) -> Setup -> Clear Range
- Proband muss ganzer Range ausführen -> Set Range
- Fuss des Probanden 90° -> Set Setpoint
- ISOM -> Set Mode (Signal), (Geht der Fuss über Setpoint, bleibt er stehen)

Track-O-Meter öffnen und Fenster maximieren:

1. Channel 0 einstellen
2. Laden der Kurven -> Load -> Desktop -> Kurven Nathanael
3. Trial-Einstellungen überprüfen (Serien, Versuche und Pausen) Anzahl Versuche: Test 3, Sonst 4 oder 8
4. Proband soll ruhig bleiben und Underlimit per Mausklick setzen -> Set lower limit  
Min. Amplitude (zw. 8 und 13)
5. Probanden festdrücken lassen und Upperlimit per Mausklick setzen -> Set upper limit (mind. 40 Nm)  
Max Amplitude (zw 16 und 19)
6. Range auf 35 % und 10 % einstellen/kontrollieren
7. Häkchen müssen bei Track, Feedback, Randomization, Balanced, Blocks gesetzt sein

Instruktion:

- Der rote Punkt muss möglichst auf der schwarzen Linie sein
- Mehr Druck: Punkt nach oben
- Bereits beim Start Punkt auf schwarze Linie bringen
- Feedback nach jedem Versuch
- Zahl möglichst tief

Track -O-Meter:

- > Start
- 3-4 Testversuche
- Number of Trials: 3 -> Start -> Versuche ausführen
- > Save/ New Session -> No

48 Versuche

- > 8 Versuche pro Serie (oder zuerst 4)
- Start vor jeder Serie

Nach 3 Versuchen, Fuss lösen, bewegen.

-> Save/New Session -> Yes -> This PC -> System -> data -> Bin -> Nathanael -> Matlab -> Tracking  
filename (z.B.: int\_02\_track)

---

## 8. Nach der Messung

- Nach 1. Tag: Zeit für zweiten Tag klären / evtl. Kontaktangaben
  - Nach 2. Tag:
    - Evtl. über Studie informieren,
    - Kleines Dankeschön überreichen
- 

## 9. Nach Beendigung jeder Messung:

- Wippe putzen
  - Federn entfernen
  - Files in den richtigen Ordner
- 

## 10. Diverses:

### Filennamen:

Kalibration Pre: int\_01\_cal  
Niveau: int\_01\_niveau  
Wippe Pre: int\_01\_wippe  
Tracking Task: int\_01\_track  
RFD Schwelle: int\_01\_rfd\_fam  
RFD Task: int\_01\_rfd  
Kalibration Ret: int\_01\_cal\_ret  
Niveau Ret: int\_01\_niveau\_ret  
Wippe Ret: int\_01\_wippe\_ret

### Trackingfile als CSV in Excel anschauen:

Spalte A anwählen -> Data -> Text to Columns -> Next -> Tab ohne Hacken, ☒ Comma, -> Next -> Finish  
Save, -> Excel Workbook

### Matlab:

Wenn Pfad nicht funktioniert:  
Home -> Set Path -> Add folder -> (Mein Ordner) -> Save -> Close  
Oder: Home-> Set path-> Add folder-> Fehlermeldung-> Yes-> Fehlermeldung -> No -> Save -> Close

Nice to know:

- Pfeil nach oben – letzte Auswahl
- „weg“: alles vorherige löschen)
- bar(R\_wippe)

### Datenbackup:

Von System (C:) auf SchaerNa (U:) kopieren

### TelefonNr:

Sven: 7285  
Michael: 8442

## **Dank**

Zuerst möchte ich meinen Betreuern danken. Sven Egger für seine Geduld und Flexibilität besonders im Hinblick auf meine ständig angepassten Termine. Deine Hilfe beim ganzen Entstehungsprozess dieser Arbeit und die wertvollen fachkundigen Rückmeldungen waren für mich sehr wichtig. Michael Wälchli für die Unterstützung in verschiedenen Bereichen wie bei der konzeptionellen Beratung oder den Messungen. Matteo Bugnon und Jan Ruffieux sind mitverantwortlich, dass die Messungen mit den nötigen Skripts zustande kamen. Mein Referent Wolfgang Taube hat es geschafft, das Interesse an den bewegungswissenschaftlichen Thematiken im Seminar wie auch in der Vorlesung zu wecken. Diese Tatsache hatten erheblichen Anteil daran, dass ich mich vertieft mit den Themen Gleichgewicht und Interferenz auseinandersetzen wollte. Alain Rouvenaz und Xavier Chenevière, ihr habt mich sehr bei der Probandenrekrutierung unterstützt.

Ohne die zahlreichen freiwilligen Probanden, welche an der Untersuchung teilgenommen haben, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Einige haben sich spontan entschlossen, bei der Untersuchung teilzunehmen, andere haben einen langen Weg nach Fribourg auf sich genommen. Vielen Dank euch allen.

Meinen Mitstudenten während dem Bachelor- wie auch dem Masterstudium gebührt ein besonderer Dank. Ihr habt das Studium zum Erlebnis gemacht. Von euch habe ich gelernt, mich ernsthaft mit gewissen Inhalten zu vertiefen und andererseits Unwichtiges mit dem nötigen Humor zu ertragen. Besonders gefreut hat mich die Zusammenarbeit mit Stefan Moret während der Zeit im Labor.

Eine wichtige Rolle während der Arbeit, aber auch im ganzen Studium, spielten meine Freunde. David, Daniel und viele weitere haben sich für die Arbeit interessiert, teilweise selber als Probanden teilgenommen und mir ein paar schöne Stunden der Auszeit auf dem Snowboard beschert. Micha, Rilana und meinen Grosseltern gebührt ein grosses Dankeschön, dass ihr mir einen Host an verschiedenen Orten in den Bergen geboten habt, um die Arbeit voranzutreiben. Genau wie die Freunde hatte meine Familie einen grossen Anteil am Gelingen dieser Arbeit. Meine Eltern Therese und Martin und meine Geschwister Michael und Damaris haben mir stets Mut gemacht und mich unterstützt.

Valeria, meine geliebte Frau, du hast eine unglaubliche Geduld gezeigt, mir Mut gemacht und mich unterstützt, indem du mir Arbeiten abgenommen hast. Vielen Dank!