

# **Ausarbeitung eines geeigneten Designs für eine Dual-Task-Studie, welche Gehen mit einer kognitiven Aufgabe kombiniert: eine Pilotstudie**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Maria Ruffieux**

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

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Prof. Wolfgang Taube

Betreuer  
Martin Keller

Freiburg, Oktober 2017

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
1 Einleitung.....	5
1.1 Dual-Task-Kosten.....	6
1.2 Alter der Probanden.....	7
1.3 Dual-Task-Aufgaben.....	8
1.4 Probleme bei Dual-Task-Studien.....	10
1.5 Ziel der Arbeit.....	14
1.6 Aufbau der Arbeit.....	14
2 Methode erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen.....	16
2.1 Probanden.....	16
2.2 Untersuchungsdesign.....	16
2.3 Messmethoden.....	19
2.4 Datenauswertung.....	20
3 Resultate erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen.....	22
3.1 N-back-Test.....	22
3.2 Gehen auf dem Laufband.....	22
3.3 Dual-Task-Kosten.....	24
4 Diskussion erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen.....	27
4.1 N-back-Test.....	27
4.2 Gehen auf dem Laufband.....	27
4.3 Dual-Task-Kosten.....	28
5 Methoden zweite Studie: Finales Design testen.....	30
5.1 Probanden.....	30
5.2 Untersuchungsdesign.....	30
5.3 Messmethoden.....	31
5.4 Datenauswertung.....	32
6 Resultate zweite Studie: Finales Design testen.....	33
6.1 N-back-Test.....	33
6.3 Gehen auf dem Laufband.....	34
6.4 Dual-Task-Kosten.....	34
7 Diskussion zweite Studie: Finales Design testen.....	36
7.1 Diskussion zum Studien-Design.....	36

7.2 Diskussion zur Dual-Task-Theorie .....	38
8 Schlussfolgerung.....	39
Literatur.....	40
Dank.....	44

## **Zusammenfassung**

Täglich erleben wir Situationen, in denen wir gleichzeitig eine motorische Aufgabe, wie Gehen, und eine kognitive Aufgabe bewältigen. Diese sogenannten Dual-Tasks stellen normalerweise kein Problem dar, solange die motorische Aufgabe weitgehend automatisiert ist und daher wenig Aufmerksamkeit erfordert. Man weiss jedoch, dass mit dem Alter scheinbar automatische Aufgaben wie Gehen wieder mehr Aufmerksamkeit erfordern und/oder die Aufmerksamkeitskapazität wieder kleiner wird. Entsprechend konnte man zeigen, dass ältere Menschen in solchen Dual-Task-Situationen einem erhöhten Sturzrisiko ausgesetzt sind. In den letzten Jahren wurden deshalb zahlreiche Dual-Task-Studien durchgeführt. Diese wiesen jedoch teilweise Schwächen im Design auf, welche die Interpretation und den Vergleich mit anderen Studien schwierig machen. Ziel dieser Arbeit war es deshalb, das bestmögliche Design für eine Dual-Task-Studie, welche Gehen mit einer kognitiven Aufgabe kombiniert, zu bestimmen. In einer ersten Studie wurden alle Bedingungen und Parameter getestet und analysiert, um ein optimales Design zu erstellen, welches schliesslich in einer zweiten Studie mit jungen und älteren Erwachsenen geprüft wurde. Die Studien haben gezeigt, dass die Angewöhnungsphase der kognitiven Aufgabe (n-back-Task) sitzend stattfinden und mit einem 1-back/1.5 s (n-back/Frequenz) beginnen sollte, gefolgt von 10-12 Durchläufen mit demselben Niveau, 3-back/1.5 s für junge Erwachsene und 2-back/1.5 s für die Älteren. Das Schwierigkeitsniveau sollte lediglich bei zu einfachem Niveau oder bei nicht eintretender Verbesserung angepasst werden, in diesem Fall muss wiederum eine Angewöhnungsphase erfolgen. Dasselbe Niveau wird anschliessend für die Single- und Dual-Task-Messung verwendet. Die Single-Task-Messung vom n-back-Test sollte sitzend stattfinden. Die Ganganalyse auf dem Laufband bei kontinuierlicher Geschwindigkeit von 4 km/h erfordert eine Angewöhnungsphase von 10 min. Die Single-Task-Messung des Ganges sollte von einer leichten kognitiven Aufgabe (1-back/1.5 s) begleitet werden, um den Aufmerksamkeitsfokus zu kontrollieren. Die Resultate der zweiten Studie legen nahe, dass der Bewegungsablauf, bei vorgegebener Geschwindigkeit von 4 km/h, automatisch ablief und kaum Aufmerksamkeit erforderte. Möglicherweise haben sich dadurch die Gangparameter von Single- zu Dual-Task kaum verändert. Im kognitiven Task konnten die Probanden während der Dual-Task-Situation bessere Resultate erzielen. Dies bestätigt die Erkenntnis, dass eine motorische Aufgabe die Ausführung einer kognitiven Zweitaufgabe erleichtern kann. Um Dual-Task-Kosten und die damit verbundene Überlastung der Aufmerksamkeitskapazitäten zu erhalten, müssten die älteren Erwachsene möglicherweise noch älter sein oder die motorische Aufgabe erschwert werden.

# 1 Einleitung

Dual-Task-Aufgaben gehören zu jedem normalen Alltag. Bereits ein Lied singen und gleichzeitig eine Treppe runtergehen ist eine Dual-Task-Aufgabe. Oft ist uns dies nicht bewusst, da eine oder sogar beide Aufgaben teilweise automatisch ablaufen und die kognitiven Kapazitäten nur gering belasten (Fraizer & Mitra, 2008). Wie eben beispielsweise Gehen und Singen die Gehirnkapazität nicht voll auslastet. Es gibt sogar Situationen, in denen die eine Aufgabe die Bewältigung der zweiten Aufgabe unterstützt. So gibt es beispielsweise Personen, denen es hilft eine Lösung zu finden, wenn sie gleichzeitig im Raum herumgehen (Schaefer, 2014). Sobald aber eine konkurrierende Zweitaufgabe hinzukommt, kann es die Kapazitäten übersteigen und die Leistung einer oder beider Aufgaben stören. Es wird vermutet, dass diese Leistungseinbussen von beschränkten Ressourcen kommen, vor allem in Situationen, bei denen die motorische Aufgabe nicht vollständig automatisch ablaufen kann und daher kognitive Kapazitäten beansprucht. Der Begriff Ressourcen hat keine einheitliche Definition. In diesem Kontext und im Bereich dieser Arbeit bezieht es sich auf geistige Anstrengungen oder auf allgemeine Informationsverarbeitungsfähigkeit, wie kognitive Geschwindigkeit, Gedächtnisspannweite, Arbeitsgedächtnis oder Aufmerksamkeit (Schaefer, 2014). Besonders ausgeprägt ist der Wettbewerb um Ressourcen bei Kindern, älteren Erwachsenen und Personen, die eine neue motorische Fähigkeit erwerben (Schaefer, 2014). In Studien konnte gezeigt werden, dass bei sportlichen Aufgaben Experten ihre Leistungen in Dual-Task-Situationen besser aufrechterhalten konnten als Anfänger, dank einer uneingeschränkten Konzentration auf die kognitive Aufgabe (Schaefer, 2014). Dies kann anhand eines Dreistufenmodells erklärt werden, wobei sich die Stufen in ihrer Nachfrage nach Ressourcen unterscheiden (Schaefer, 2014): Eine neue oder nicht alltägliche Bewegung wird bewusster ausgeführt und beansprucht folglich stärker die Gehirnkapazitäten. Die Ausführung wird langsamer und fehleranfällig. Die zweite Stufe ist bereits vermehrt mit automatisiertem Bewegungsmaterial verknüpft und umso häufiger die Bewegung praktiziert wird, desto näher kommt man der Stufe drei, einem autonomen Ablauf. Dies erlaubt eine konsequente, effiziente und exakte motorische Kompetenz.

Jeden Tag gibt es zahlreiche Situationen, in denen eine posturale Aufgabe (erfordert posturale Kontrolle: Kontrolle der Körperposition im Raum für das Gleichgewicht und die Orientierung) mit einer sekundären Aufgabe konkurriert. Gerade heutzutage, in unserer schnelllebigen Gesellschaft, werden oft zwei Aufgaben gleichzeitig erledigt, die sich gegenseitig stören. Beispielsweise, wenn während dem Autofahren ein Telefongespräch geführt wird. Auch durch das neue Zeitalter der Smartphones kann immer häufiger beobachtet werden, wie Fussgänger

eine Strasse überqueren und dabei auf ihrem Smartphone herumdrücken. In der Studie von Lim, Amado, Sheehan und Van Emmerik (2015) konnten circa die Hälfte der visuellen Hinweise, die während des Gehens und Textens auftauchten, nicht wahrgenommen werden. Zusätzlich veränderten sich die Gangparameter in dieser Dual-Task-Situation.

Ein weiteres interessantes Phänomen ist, wenn während dem Gehen ein Gespräch geführt wird und dem Gesprächspartner eine wichtige oder schwierige Frage gestellt wird, verlangsamt diese Person ihr Tempo oder bleibt sogar stehen um sich die Antwort genau zu überlegen. Gerade dadurch, dass solche Dual-Task-Phänomene eine Alltäglichkeit sind, hat es in der Wissenschaft grosses Interesse geweckt, welche daher bereits in einer Vielzahl von Studien untersucht worden sind. In den nächsten Kapiteln wird der Stand des Wissens und mögliche Mechanismen, welche in der Literatur vorgeschlagen wurden, bezüglich Dual-Task dargestellt und diskutiert.

## **1.1 Dual-Task-Kosten**

In der Literatur wird die Leistungsabnahme in einer oder beiden Aufgabe von einer Single- (z. B. nur Gehen) zu einer Dual-Task-Situation (z. B. Gehen und Frage beantworten) häufig als Dual-Task-Kosten bezeichnet und berechnet (in diesem Beispiel könnte das eine Abnahme der Ganggeschwindigkeit sein). Dabei wurde interessanterweise herausgefunden, dass Prozesse wie Wahrnehmung, Sprache, Gedächtnis und Denken gegenüber von Bewegungsabläufen bevorzugt werden (Rosenbaum, 2005). Ältere Erwachsene, die oft höhere Kosten zeigen als junge Erwachsene, neigen hingegen dazu, die motorische Aufgabe zu priorisieren (Schaefer, 2014). Sobald in Dual-Task-Situationen die posturale Kontrolle eine zentrale Verarbeitung erfordert, können die kognitiven Ressourcen durch eine zweite aufmerksamsstarke Aufgabe überschritten werden. Diese Erkenntnis spricht dafür, dass die posturale Kontrolle und eine höhere kognitive Aufgabe dieselben Ressourcenanforderungen haben (Fraizer & Mitra, 2008). Das weist darauf hin, dass selbst scheinbar automatisierte Bewegungsabläufe wie Gehen ein gewisses Mass an kognitiver Kontrolle erfordern und folglich durch eine zweite Aufgabe gestört werden können (Teasdale, Bard, LaRue & Fleury, 1993). Um die Dual-Task-Kosten zu berechnen, wird die Differenz zwischen dem Single-Task und dem Dual-Task ermittelt. Meistens wird die folgende Formel angewendet:  $\text{Dual-Task-Kosten (\%)} = 100 \times (\text{Single-Task-Leistung} - \text{Dual-Task-Leistung}) / \text{Single-Task-Leistung}$  (Anderson, Bucks, Bayliss & Sala, 2011; Bock, 2008). Wichtig zu bemerken ist, dass in dieser Studie grosse Werte negativ zu bewerten sind und als höhere Kosten gelten. Zum Beispiel ist eine Gangvariabilität von 3.1 % und eine Fehlerquote von 6 schlechter als 2.1 % respektive 3. Deshalb wurde bei der

Formel zur Berechnung der Dual-Task-Kosten ein Minus vorangestellt ( $-100 \times (\text{Single-Task-Leistung} - \text{Dual-Task-Leistung}) / \text{Single-Task-Leistung}$ ). Dabei werden die Kosten proportional berechnet, das heisst, die Leistungsreduktion unter Dual-Task-Bedingungen als Prozentsatz von den jeweils individuellen Single-Task-Leistungen. Im Gegensatz zu den absoluten Kosten, können die proportionalen Kosten der verschiedenen Altersgruppen und deren individuellen Aufgabenschwierigkeiten verglichen werden (Schaefer, 2014).

## **1.2 Alter der Probanden**

Bei älteren Menschen können bereits Aufgaben wie Gehen und gleichzeitig eine einfache Frage beantworten zu einer Verschlechterung der Leistung in einer oder beiden Aufgaben führen. Dieser Anstieg der Dual-Task-Kosten konnte anhand von mehreren Studien bestätigt werden (Ruffieux, Keller, Lauber & Taube, 2015). Deshalb sollten die kognitiven sowie die motorischen Aufgaben individuell angepasst werden (Schaefer, 2014). Der Grund für die höheren Kosten liegt darin, dass ältere Erwachsene, verglichen mit jungen Erwachsenen, limitierte Ressourcen haben (Schaefer, 2014). Das heisst, die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen lässt nach. Zusätzlich nehmen die Anforderungen an die posturale Kontrolle über die Lebensdauer zu, da die sensorischen Informationen (visuell, somatosensorisch und vestibulär) abnehmen (Shumway-Cook & Woollacott, 2000). Sobald die Ressourcen und die posturale Kontrolle in einer Dual-Task-Situation erschöpft sind und somit zu wenig Aufmerksamkeit in die motorische Domäne investiert wird, kann es zu Stürzen führen. Dasselbe Phänomen wurde auch bei Kindern beobachtet, die sich noch in der Entwicklung dieser Ressourcen befanden (Krampe, Schaefer, Lindenberger & Baltes, 2010). In dieser Studie wurden die Ressourcen über die Lebensdauer behandelt, dabei ergab sich eine umgekehrte U-förmige Kurve: Entwicklung während der Kindheit und der Jugend, ein Maximum und somit ein höchstes Leistungsniveau bei jungen Erwachsenen und eine Abnahme durch den Alterungsprozess. Betrachtet man nun die Dual-Task-Kosten ergibt sich dementsprechend eine U-förmige Funktion, die darauf hinweist, dass vor allem bei Kindern und älteren Erwachsenen Dual-Task-Kosten vorkommen. Der durch den Alterungsprozess veränderte Aufmerksamkeitsfokus und erhöhte Ressourcenwettbewerb hat vor allem Auswirkungen auf die Gangvariabilität (Huxhold, Li, Schmiedek & Lindenberger, 2006).

Nun stellt sich die Frage, ab wann denn ein Mensch als älter bezeichnet wird. Der Alterungsprozess ist bei jedem Menschen verschieden und es gibt eine ganze Reihe an Bezeichnungen für diese Altersgruppe. Eine allgemein gültige Definition gibt es nicht, in vielen Studien werden Menschen ab 60 Jahren als ältere Erwachsene bezeichnet. In der Studie von Lövdén,

Schaefer, Pohlmeier und Lindenberger (2008) wurden junge Probanden von 20 bis 30 und ältere von 60 bis 70 Jahren für eine Dual-Task-Studie getestet. Sobald die Schwierigkeit vom kognitiven Test erhöht wurde, konnte man bei den jungen Erwachsenen eine Verringerung der Gangvariabilität feststellen, bei der älteren Generation wurde allerdings keine Veränderung festgestellt. Darauf folgte die Studie von Verrel, Lövdén, Schellenbach, Schaefer und Lindenberger (2009), die eine Testgruppe von noch älteren Erwachsenen im Alter von 70 bis 80 Jahren getestet hatten. Diese zeigten nun bei Erhöhung des kognitiven Levels einen instabileren Gang. Deshalb wurden in dieser Studie Probanden zwischen 20 und 35 Jahren, somit das höchste Leistungsniveau, sowie über 70-Jährige gewählt.

### **1.3 Dual-Task-Aufgaben**

Die Aufgabentypen sind anhand der Literaturrecherche gewählt worden. Ein weiterer Punkt war, Bedingungen zu schaffen, die eine Alltagssituation imitiert.

**1.3.1 Motorische Aufgabe.** Viele Dual-Task-Studien wählten den Gang als motorische Aufgabe und verwendeten dafür ein Laufband (Schaefer, 2014). Nach einer Angewöhnungsphase zeigten die Probanden für die meisten Parameter ähnliche Gangmuster wie beim Gehen auf dem Boden (Schellenbach, Lövdén, Verrel, Krüger & Lindenberger, 2010). Um die Gültigkeit und Verallgemeinerbarkeit von Vergleichen zwischen jungen und älteren Erwachsenen zu ermitteln, ist es wichtig, dass vor allem die älteren Probanden eine ausreichende Angewöhnung an das Laufband erhalten. In der Studie von Schellenbach et al. (2010) wurde 20 min. als genügend lang angegeben.

Um zu überprüfen, ob sich zwei gleichzeitig ausgeführte Aufgaben gegenseitig stören, muss jeweils auch die «isolierte» Leistung gemessen werden, das heisst die Leistung, wenn die Aufgaben jeweils einzeln ausgeführt werden (Single-Task; Andersson, Hagman, Talianzadeh, Svedberg & Larsen, 2002). Die letzte Minute dieser Gewöhnungsphase kann daher aufgezeichnet werden und als Single-Task-Wert dienen. Darüber sollten aber die Probanden nicht in Kenntnis gesetzt werden. Denn sobald die Konzentration auf das Gehen gerichtet wird, kann der automatische Prozess negativ beeinflusst werden (Vuillerme, Nougier & Teasdale, 2000). Dieses Thema wurde in der Studie von Wulf, McNevin und Shea (2001) untersucht. Die Probanden mussten auf einem Stabilometer (Gleichgewichtsgerät) ihr Gleichgewicht halten. Dies wurde mit einem internen Fokus (Konzentration auf die Bewegung) und einem externen Fokus (Konzentration auf den Bewegungseffekt) getestet. Dabei wurde herausgefunden, dass bei Probanden mit einem internen Fokus ihr normalerweise automatischer Prozess



der Bewegung gestört wurde. Eine Möglichkeit, den Aufmerksamkeitsfokus zu kontrollieren, wäre bei der motorischen Aufgabe zusätzlich eine einfache kognitive Anweisung zu geben (Fraizer und Mitra, 2008). Ansonsten hat man keine Kontrolle darüber, was die Probanden denken. Wenn zusätzlich eine einfache Aufgabe, die den Arbeitsspeicher beansprucht, aufgetragen wurde, war die Gangvariabilität niedriger als ohne kognitiven Task (Lövdén et al., 2008). Eine einfache Aufgabe wäre, dass die Probanden einer Computerstimme zuhören, die Zahlen von eins bis neun immer wieder durcheinander runterspricht. Dabei müssen sie jeweils auf ein Horn drücken, wenn sie zweimal nacheinander die gleiche Zahl hören (1-back). Bei den Dual-Task-Konditionen wird diese Aufgabe dann deutlich schwieriger, aber die mechanische Anforderung (z. B. das Drücken von einem Horn) bleibt die gleiche, somit können Schwankungen diesbezüglich verhindert werden (Dault, Yardley, & Frank, 2003; Siu & Woollacott, 2007). Dadurch kann der Leistungsunterschied bei Dual-Task-Konditionen besser bestimmt werden, dieser ist folglich entweder durch die Änderung des Aufgabentyps und/oder durch die Erhöhung des Schwierigkeitsgrades entstanden (Fraizer & Mitra, 2008).

**1.3.2 Kognitive Aufgabe.** Die kognitive Aufgabe sollte die motorische Aufgabe nicht zu stark beeinflussen (Fraizer & Mitra, 2008). Zum Beispiel könnte eine kognitive Aufgabe wie eine Wahrnehmung im Raum die motorische Aufgabe wie das Gleichgewicht positiv beeinflussen (Maylor, Allison & Wing, 2001). Somit könnten die Dual-Task-Werte tiefer sein, als die Werte von der Gleichgewichtsaufgabe als Single-Task. Besser wäre zum Beispiel die visuelle Fixierung von einem Punkt sowohl beim Single-Task als auch beim Dual-Task (Maylor et al., 2001). Beim Dual-Task wird dann zur motorischen Aufgabe lediglich eine gedächtnisbasierte Aufgabe hinzugefügt. Somit kann der reine kognitive Belastungseffekt gemessen werden.

Für die kognitive Aufgabe sind solche Tests am idealsten, bei denen der Schwierigkeitsgrad und die Leistung der Probanden direkt quantifiziert werden können (Fraizer & Mitra, 2008). Als kognitiver Test wurde deshalb bereits in vielen Studien der n-back-Task gewählt (Verrel et al., 2009; Lövdén et al., 2008). Wie bei der Single-Task-Kondition vom Gehen hören die Probanden erneut Zahlen von eins bis neun von einer Computerstimme. Diese werden durcheinander und randomisiert runtergesprochen. Sobald die Probanden dieselbe Zahl zwei oder drei zurück (2-, respektive 3-back) bereits gehört haben, drücken sie auf das Horn. Wird dabei ein Treffer vergessen oder ein falscher Alarm ausgelöst, wird es als Fehler notiert. Somit kann die Leistung der kognitiven Aufgabe ohne grossen Aufwand quantifiziert werden. Dabei kann auch die oben erwähnte Bedingung, Fixierung von einem Punkt, gewährleistet werden.

Beim n-back-Task wird das Arbeitsgedächtnis für die kognitive Fähigkeit beansprucht (Schaefer, 2014). Solche Arbeitsspeicherprozesse starten, sobald in einem aktiven Zustand die Aufrechterhaltung von Informationen gefordert wird, während diese Informationen aktualisiert und die Verarbeitungsströme beeinflusst werden (Miller & Cohen, 2001).

## **1.4 Probleme bei Dual-Task-Studien**

**1.4.1 Auswahl der Parameter.** Die Interpretation der Resultate der posturalen Kontrolle stellt oft ein Problem dar, da noch nicht klar definiert wurde, welche Parameter die posturale Kontrolle am besten beschreiben (Ruffieux et al., 2015). Ausserdem sind Änderungen in den Gangparametern bei Dual-Task-Konditionen nicht unbedingt auf eine schlechte posturale Kontrolle zurückzuführen. In manchen Fällen kann eine posturale Aufgabe sogar die Ausführung einer Zweitaufgabe erleichtern (Fraizer & Mitra, 2008).

Um das Gehen zu analysieren wurden bereits viele Methoden angewendet. In der Studie von Lindenberger, Marsiske und Baltes (2000) mussten die Probanden auf zwei verschiedenen Spuren gehen, die auf den Boden markiert wurden. Die Eine war ein Oval mit zwei parallelen Linien und je einem Halbkreis an den Enden. Die Andere hatte eine sehr komplexe Struktur mit vielen Abzweigungen und Wendepunkten. Beide Spuren waren jeweils nur 19 cm breit. Die Probanden wurden instruiert so schnell und exakt wie möglich auf der Spur zu gehen. Bei der Laufanalyse war das Hauptaugenmerk auf die Ganggeschwindigkeit und die Genauigkeit gerichtet. Auf der schwierigen Spur zeigten sowohl die jungen wie auch die älteren Erwachsenen höhere Dual-Task-Kosten bei der kognitiven Aufgabe (Liste von Wörtern merken). Bei solchen Versuchen spielt die Priorisierung der Aufgaben eine starke Rolle. Allerdings ist es schwierig, die Priorisierung zu kontrollieren. Die Anweisung, so schnell wie möglich zu gehen, kann sehr unterschiedlich aufgefasst werden. Die Probanden könnten versuchen, gemäss Anweisungen, immer noch eine hohe Geschwindigkeit zu halten, dabei würde automatisch die kognitive Aufgabe darunter leiden. Diese Kosten entstünden daher nicht nur durch dieselben Ressourcenanforderungen, sondern auch durch Priorisierung. Würden die Probanden instruiert werden, so viele Wörter wie möglich zu merken, sähen die Dual-Task-Kosten möglicherweise anders aus. Um solche Einflussfaktoren zu minimieren, kann die Laufgeschwindigkeit durch ein Laufband vorgegeben und gleichzeitig konstant gehalten werden.

Dabei stellt sich die Frage, welche Geschwindigkeit eingestellt werden sollte. In der Studie von Schaefer, Lövdén, Wieckhorst und Lindenberger (2010) wurden zwei verschiedene Bedingungen getestet. Die Probanden absolvierten den Test bei bevorzugter Geschwindigkeit und bei einer vorgegebenen von 2.5 km/h. Die kognitive Leistung war bei beiden Altersgrup-

pen (junge Erwachsene und Kinder) besser bei ihrer bevorzugten Geschwindigkeit. Allerdings ergab sich bei den jungen Erwachsenen ein Mittelwert von 3.73 km/h und war somit bedeutend schneller als die vorgegebene Geschwindigkeit. Möglicherweise war die langsamere Laufgeschwindigkeit ungewohnt, lief folglich weniger automatisch ab und erforderte mehr Aufmerksamkeit, so dass die kognitive Leistung darunter litt. Bohannon (1997) liess Erwachsene im Alter von 20-79 Jahren über eine Distanz von 7.62 m in ihrer bevorzugten Geschwindigkeit gehen. Dabei wurde eine digitale Stoppuhr verwendet um das Tempo zu bestimmen. Die Werte waren zwischen 4.6 km/h und 5.3 km/h. Dabei ist zu beachten, dass eine Situation im Labor immer abweicht von denen im Feld. Während die Probanden gingen, wurden sie von den Studienleitern beobachtet, dies kann unangenehm gewesen sein und dadurch hat sich ihr Tempo erhöht. Hinzu kommt, dass keine kognitive Aufgabe verlangt wurde, dadurch galt ihre ganze Aufmerksamkeit ihrem Gang. 2008 hat Bohannon erneut eine Studie über die Laufgeschwindigkeit durchgeführt. Er liess 1923 Probanden über 50 Jahren über eine Distanz von 2.4 m und 6.1 m gehen. Dabei resultierte eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 3.6 km/h, welche langsamer war, als bei anderen zuvor veröffentlichten Studien. Bohannon (2008) kam zu dem Schluss, dass diese Ganggeschwindigkeit die Bevölkerung möglicherweise eher repräsentiert. Dies bestätigt sich auch durch eine aktuelle Studie, bei der die bevorzugte Geschwindigkeit und die unter Dual-Task-Konditionen getestet wurde (Eggenberger, Tomovic, Münzer & de Bruin, 2017). Bei 70-79-Jährigen war die bevorzugte Geschwindigkeit unter Single-Task-Konditionen 4.3 km/h und unter Dual-Task-Konditionen 4 km/h.

Um das Gehen auf dem Laufband zu analysieren wird oft die Gang-Variabilität angeschaut, die Schwankungen von Schritt-zu-Schritt (Hausdorff, 2005). Untersuchungen bei Dual-Task-Aufgaben deuten darauf hin, dass die Schrittbreite und die Schrittzeit durch die Aufmerksamkeitsbelastung am stärksten beeinflusst werden (Hausdorff, 2005). Vor allem ältere Menschen, mit erhöhter Variabilität im Hinblick auf die oben genannten Gangparameter, haben ein erhöhtes Risiko zu stürzen (Hausdorff, 2005). Es wird vermutet, dass sich die Schrittzeit und Schrittlänge auf die Motorsteuerung des rhythmischen Gangmusters und die Schrittbreite und doppelte Unterstützungsphase auf die Gleichgewichtskontrolle bezieht (Gabell & Najak, 1984). Dabei deuteten Ergebnisse darauf hin, dass in der Gleichgewichtskontrolle mehr Variabilität vorkommt (Gabell & Najak, 1984). Bei Tests auf dem Laufband und dem OptoGait mit nur seitlichen Messbalken ist es jedoch nicht möglich die Schrittbreite zu erfassen und die Schrittzeit wird durch die vom Laufband vorgegebene, konstante Geschwindigkeit beeinflusst.

**1.4.2 Fokus bei Single-Task-Messung.** Wie bereits im Kapitel 1.3.1 ausführlich erklärt, ist es wichtig, dass die Single-Task-Messung mit einer leichten kognitiven Aufgabe durchgeführt wird. Die Leistungen können durch das Hinzufügen einer expliziten kognitiven Last verändert werden (Fraizer & Mitra, 2008). Gleichzeitig wird damit erreicht, dass die Aufmerksamkeit nicht mehr auf das Gehen gerichtet wird und somit ein externer statt ein interner Fokus stattfindet (Wulf et al., 2001). Mit einem internen Fokus, das heisst, volle Konzentration auf die Bewegung, kann die selbstorganisierende Dynamik des Motorsystems beeinträchtigt werden. Dieses Phänomen wird vor allem bei Experten beobachtet, die einen bestimmten Bewegungsablauf bereits unzählige Male trainiert haben und ohne zu überlegen ausführen. Sobald in solchen Situationen detaillierte Erklärungen und Fokussierungen auf Körperteile erteilt werden, wird das automatische Bewegungsmuster gestört (Beilock, Bertenthal, McCoy & Carr, 2004). Durch Dual-Task-Bedingungen kann die Bewegung wieder natürlich ablaufen und zu einer automatischen posturalen Kontrollstrategie führen. Interessanterweise entsteht die Veränderung der posturalen Leistung durch die Veränderung des Aufmerksamkeitsfokus und nicht durch den zusätzlichen kognitiven Task (Ruffieux et al., 2015). In der Studie von Lövdén et al. (2008) wurde bei den Probanden eine geringere Gangvariabilität gemessen, wenn sie zusätzlich eine leichte kognitive Aufgabe (1-back) lösen mussten. Einen weiteren Beweis dafür, dass sobald die Aufmerksamkeit nicht auf den motorischen Task gerichtet wird, die Bewegung automatisiert abläuft. Die kognitive Aktivität darf jedoch nicht zu schwierig sein und sollte ohne grosse Überlegungen zu bewältigen sein, ansonsten kann die Motorsteuerung durch den Ressourcenwettbewerb beeinträchtigt werden (Lövdén et al., 2008). Bei diesem Prozess kommt es zu einer U-förmigen Beziehung, bei der die motorische Kontrolle durch eine kognitive Aufgabe mit geringem Schwierigkeitsgrad verbessert wird und durch eine zusätzliche Schwierigkeitssteigerung verringert (Huxhold et al., 2006; Vuillerme et al., 2000). Mit fortschreitendem Alter werden bereits solche einfachen Aufgaben zunehmend schwieriger. Dieses Phänomen konnte zum Beispiel beobachtet werden, sobald eine ältere Person eine stark befahrene Strasse überquerte, unterbrach sie ihr Gespräch mit einer anderen Person (Lindenberger et al., 2000).

Ein weiterer Aspekt des Fokus ist die Blickrichtung. Das Gehen auf dem Laufband ist für viele ungewohnt und führt oft dazu, dass der Blick auf die Füße gerichtet ist. Um dies zu verhindern, kann an der gegenüberliegenden Wand eine Stelle auf Augenhöhe markiert werden, welche während dem Gehen angeschaut werden muss. Durch die ungewohnte experimentelle Umgebung und der Fixierung von einem Punkt besteht allerdings das Risiko, dass sich die Probanden unnatürlich konzentrieren (Lövdén et al., 2008). In verschiedenen Studien

wurde, um diesen Effekt zu verhindern, vor dem Laufband ein grosser Bildschirm montiert, auf dem eine virtuelle Umgebung mit einem geraden Weg projiziert wurde (Lövdén et al., 2008; Lövdén, Schellenbach, Grossmann-Hutter, Krüger & Lindenberger, 2005; Schellenbach et al., 2010).

**1.4.3 Einfluss des Alters auf die Dual-Task-Leistung.** Durch den grossen Altersunterschied der jeweiligen Probandengruppen müssen die Niveaus der Tests angepasst werden, ansonsten kann es dazu führen, dass eine Aufgabe für eine Altersgruppe zu einfach oder zu schwierig ist. Dadurch können Decken- oder Bodeneffekte entstehen und die Aussagekraft der Ergebnisse wird beeinflusst (Ruffieux et al., 2015). Altersbedingte Dual-Task-Unterschiede waren oft darauf zurückzuführen, dass die Single-Task-Aufgaben nicht an die individuellen Fähigkeiten angepasst wurden (Anderson et al. 2011). Durch eine Anpassung der einzelnen Leistungsniveaus kann eine vergleichbare kognitive Belastung erreicht werden und die Dual-Task-Kosten sind auf die Fähigkeit zurückzuführen zwei Aufgaben gleichzeitig auszuüben und nicht auf die Leistung in den Single-Task-Aufgaben (Anderson et al., 2011). Zum Beispiel können bei älteren Personen hohe Kosten entstehen, weil der kognitive Task zu schwierig war. Durch individuelle Anpassungen können unterschiedliche Werte bei den Dual-Task-Kosten entstehen, daher ist es wichtig, dass die Kosten dementsprechend prozentual (proportional, siehe Kapitel 1.1) berechnet werden (Ruffieux et al., 2015).

**1.4.4 Aufgabenschwierigkeit.** Das Herausfinden des Niveaus einzelner Probanden ist eine schwierige Aufgabe. Dafür sollten mehrere Testdurchläufe durchgeführt werden, damit bei der Messung der Trainingseffekt die Daten nicht verfälscht. Allerdings kann durch zu viele Tests die Leistung wegen Müdigkeit und Konzentrationsverlust abnehmen. Es kann entscheidend sein auf welchem Schwierigkeitslevel die Aufgabe absolviert wird, denn bei schwierigen Aufgaben werden mehr Ressourcen investiert.

**1.4.5 Priorisierung.** Die posturale und kognitive Aufgabe sollten beide immer in Single-Task- und Dual-Task-Bedingungen gemessen werden. Dies ermöglicht eine Berechnung der beiden Dual-Task-Kosten und Unterschiede in der Priorisierung können erkannt werden (Ruffieux et al., 2015). Eine spezifische Instruktion (z. B. die Anweisung beim kognitiven Task möglichst wenig Fehler zu machen) kann, bezüglich Priorisierung, einen Einfluss auf die Resultate haben (Ruffieux et al., 2015). Die Probanden sollten dementsprechend instruiert werden, keinen Task zu priorisieren oder Instruktionen in dieser Hinsicht werden direkt wegge-

lassen. Eine weitere Möglichkeit wäre, mehrere Messungen mit unterschiedlichen Instruktionen durchzuführen.

### **1.5 Ziel der Arbeit**

Es stellt sich die Frage, weshalb eine solche Pilotstudie überhaupt notwendig ist. Unterschiede in den Daten und in der experimentellen Gestaltung tragen dazu bei, dass die Funktionsweise der Koexistenz von posturalen Synergien und einer höheren kognitiven Aufgabe im Alltag noch weitgehend unbekannt sind (Fraizer & Mitra, 2008). Bevor eine umfassende Erhebung durchgeführt wird, sollte die Effektivität der Forschungsmethoden getestet werden. Damit kann verhindert werden, dass die Forschungsergebnisse aufgrund eines ungenügenden experimentellen Designs nicht verwendet werden können. Weiter können durch Fehler in der Durchführung der Methoden falsche Schlussfolgerungen gezogen werden. Das Ziel dieser Pilotstudie ist es, die Parameter der Methoden zur Untersuchung der Mechanismen hinter Dual-Task zu erforschen. Zum Beispiel wird getestet, welche Ganggeschwindigkeit, sprich wie schnell das Laufband, eingestellt werden soll. Dabei werden die verschiedenen Möglichkeiten aufgelistet: Wählen die Probanden ihre bevorzugte Geschwindigkeit, wird eine vorgegeben aus der Literaturrecherche oder sollten mehrere eingestellt werden. Alle wichtigen Parameter werden mit den Probanden getestet, analysiert und diskutiert, damit schlussendlich ein geeignetes Design für eine Dual-Task-Studie entsteht um somit die Daten und experimentelle Gestaltung zu vereinheitlichen.

Die konkrete Fragestellung lautet: Wie sieht ein geeignetes Design für eine Dual-Task-Studie aus, welche Gehen mit einer kognitiven Aufgabe kombiniert?

### **1.6 Aufbau der Arbeit**

Bei einer Dual-Task-Studie werden die Kosten berechnet die entstehen, wenn zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden. In dieser Studie wurde eine motorische Aufgabe (Gehen auf dem Laufband) und eine kognitive Aufgabe (n-back-Test) gewählt. Um die Kosten zu berechnen müssen jeweils die Single-Task-Werte von der motorischen und kognitiven Aufgabe, sowie die Dual-Task-Werte erfasst werden. Bei der Durchführung dieser Tests braucht es optimale Bedingungen und aussagekräftige Parameter. Daher wurde die Studie in zwei Teile unterteilt. In der ersten Studie wurden alle Bedingungen (Bsp. Ganggeschwindigkeit, Schwierigkeitsniveau beim n-back-Test) und Parameter (Bsp. Variationskoeffizient der Doppelschrittlänge, Anzahl Fehler beim n-back-Test) der beiden Single-Tasks und der Dual-Task mit

jeweils drei jungen Erwachsenen und drei älteren Erwachsenen getestet. Die Resultate wurden analysiert und sobald das finale Design stand, wurde das ganze Setup nochmals mit jeweils fünf jungen Erwachsenen und fünf älteren Erwachsenen durchgeführt. Die zweite Studie diente als Test, ob das Design geeignet ist und für weiterführende Studien übernommen werden kann.

Um die Arbeit übersichtlich zu gestalten und ihr eine logische Reihenfolge zu verleihen, werden zuerst die Methoden, Resultate und Diskussion der ersten Studie dargestellt. Entsprechend dieser Resultate und Diskussion wurde die zweite Studie erstellt und wird wiederum chronologisch mit Methoden, Resultate und Diskussion aufgeführt. Die anschliessende Schlussfolgerung gilt für beide Studien und bezieht sich auf die gesamte Arbeit.

## **2 Methode erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen**

### **2.1 Probanden**

Drei Probanden zwischen 26 und 35 Jahren (eine weiblich, zwei männlich) und drei Probanden zwischen 70 und 78 Jahren (eine weiblich, zwei männlich) haben an der ersten Studie teilgenommen. Ausschlusskriterien waren Anzeichen von kognitiven oder sensomotorischen Defiziten. Durch die zwei verschiedenen Altersgruppen wurde getestet, ob beide das gleiche Design verwenden können oder ob es altersgemässe Anpassungen braucht. Die Probanden wurden über das Ziel- und den Ablauf der Studie informiert.

### **2.2 Untersuchungsdesign**

Die Angewöhnungsphase an den n-back-Test und das Gehen auf dem Laufband wurde stets vor den Messungen durchgeführt. Anschliessend wurde die Reihenfolge der Tests (Single-Task n-back-Test, Single-Task Gehen und Dual-Task) randomisiert.

**2.2.1 Angewöhnungsphase n-back-Test.** Die Probanden durchliefen zuerst eine Angewöhnungsphase, damit sie sich an den Test gewöhnen und Strategien entwickeln konnten. Dabei sassen sie vor einem Tisch und haben selber entschieden, ob sie den Test mit offenen oder geschlossenen Augen absolvieren wollten (vier Probanden hatten offene und zwei Probanden hatten geschlossene Augen). Zuerst wurde mit dem tiefsten Niveau angefangen (1-back/alle 2 s eine Zahl: Frequenz (2 s)). Sobald sie keine Fehler oder eine Reduktion der Fehler verzeichnen konnten, wurde das Niveau erhöht. Dies geschah immer in derselben Reihenfolge: 1-back/2 s, 1-back/1.5 s, 1-back/1 s, 2-back/2 s, 2-back/1.5 s, 2-back/1 s, 3-back/2 s, 3-back/1.5 s, 3-back/1 s. Die Probanden erhielten nach jedem Versuch ihr Resultat und wurden angespornt, diesen Wert möglichst bei jedem Versuch zu verbessern. Vor jedem neuen Versuch wurde den Probanden das Niveau (n-back/Frequenz) mitgeteilt und sie wurden gefragt ob sie sich noch konzentrieren können und bereit sind für einen erneuten Test. Dabei sollte ihre Leistung einigermaßen stabil werden, das heisst, optimaler Weise sollte ein Leistungs-Plateau (Leistungsniveau verändert sich nicht mehr) erreicht werden, damit der Trainingseffekt die Daten nicht verfälscht. Ein Beispiel für ein Leistungsplateau ist in Abbildung 1 dargestellt. Diese Phase sollte aber auch nicht zu lange dauern, andernfalls lässt die Konzentration nach. Daher galt es herauszufinden wie lange es dauert bis die Leistung stabil war.



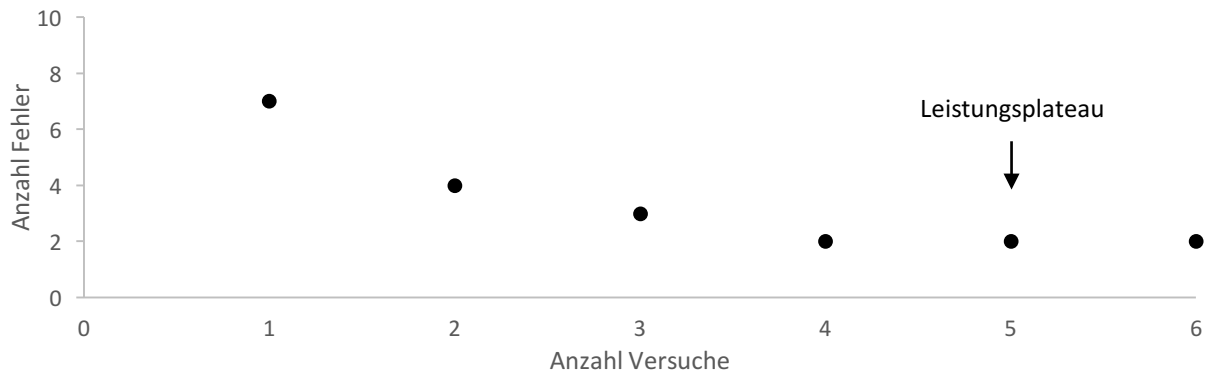


Abbildung 1. Beispiel eines erreichten Leistungsplateaus.

**2.2.2 Schwierigkeitslevel: n-back/Frequenz.** Durch die Angewöhnungsphase sollte folglich ein Schwierigkeitslevel resultieren, das aus einer Kombination von 2-back oder 3-back und der Frequenz von 1, 1.5 oder 2 s/Zahl bestand. Dabei wurde entschieden, ob die Probanden den Test auf dem Niveau absolvierten, welches sie im Single-Task fehlerfrei beherrschten oder ein Niveau unterhalb. Weiter wurde untersucht, ob das Niveau stark variiert zwischen den Probanden, das heisst individuell eingestellt werden muss oder ob sich ein Level ergibt, welches fix für alle Probanden verwendet werden kann.

**2.2.3 Bedingungen n-back-Test.** Sobald ein Leistungslevel bestand, konnte die Single-Task-Messung erfolgen. Damit die Single-Task-Bedingungen nicht zu stark von denen der Dual-Task abwichen, mussten die Probanden auf dem ausgeschalteten Laufband stehen und die Augen offenhalten. Damit die Probanden nicht auf ihre Füße und das Laufband hinunterschauten, wurde an der gegenüberliegenden Wand eine Stelle auf Augenhöhe markiert, welche sie anschauen mussten. Es wurden zwei bis drei Single-Task-Messungen durchgeführt. Dabei wurde getestet, ob diese ausreichen, damit ein Mittelwert resultiert, der nicht auf Glück basiert oder eine zu starke Abweichung aufweist.

**2.2.4 Angewöhnungsphase Gehen auf dem Laufband.** Die Probanden mussten zuerst ein bis zwei Minuten auf dem Laufband gehen und selbständig ihre bevorzugte Ganggeschwindigkeit einstellen. Sie sollten ein Tempo wählen, mit dem sie einen Fussgängerstreifen überqueren würden. Dieses war für die späteren Tests (Bedingungen) notwendig und wurde notiert. Weiter wurde analysiert, ob sich die bevorzugte Geschwindigkeit unter den Probanden unterscheidet und ob es altersgemässe oder literaturbasierte Abweichungen gibt. Darauf folgte eine Angewöhnungsphase bei dieser wiederum die selbstgewählte Geschwindigkeit eingestellt

wurde. Diese Phase dauerte 11 min. Alle zwei Minuten wurden 30 s mit dem OptoGait (siehe Punkt 2.3) aufgezeichnet. Diese Aufzeichnungen wurden gemacht, damit die Daten der verschiedenen Gangparameter analysiert werden konnten, um zu bestimmen, wie langen die Angewöhnungsphase dauern sollte. Die Probanden wurden nicht über die Messungen informiert, damit ihr Gang so natürlich wie möglich erfolgen konnte. Die fünfte und letzte Aufzeichnung der Angewöhnungsphase wurde bereits verwendet als unbewusste Single-Task-Messung.

**2.2.5 Bedingungen Ganganalyse.** Sobald sich die Probanden an das Laufband gewöhnt hatten, konnte die bewusste Single-Task-Messung erfolgen. Wie bei den Bedingungen der Single-Task-Messung vom n-back-Test mussten die Probanden auf eine auf Augenhöhe markierte Stelle an der gegenüberliegenden Wand schauen, damit sie nicht auf ihre Füße und das Laufband hinunterschaute. Um die optimalen Bedingungen zu bestimmen, wurden (nebst der unbewussten Messung, die bereits bei der Angewöhnungsphase durchgeführt wurde) folgende Parameter je zweimal getestet: die selbstgewählte bevorzugte Geschwindigkeit und eine vorgegebene Geschwindigkeit gemäss Literaturrecherche (4.0 km/h, siehe Punkt 1.4.1) in Kombination mit einer Ansage: «Ich messe jetzt eine Minute deinen Gang» oder einer leichten kognitiven Aufgabe. Diese Aufgabe bestand aus einem 1-back-Test mit der Frequenz von 1 s (siehe Punkt 2.3.1), das heisst, die Probanden hatten ein Horn in der Hand und mussten signalisieren sobald sie eine Zahl zweimal nacheinander hörten. Der Sinn der kognitiven Aufgabe war, dass die Probanden abgelenkt waren und sich nicht auf ihren Gang konzentrieren. Der kognitive Test dauerte eine Minute. Der Gang wurde jeweils nach 15 s für 30 s aufgezeichnet. Das Testprotokoll ist in der Tabelle 1 dargestellt. Die Reihenfolge der verschiedenen Tests wurde randomisiert.

Tabelle 1

*Testprotokoll der Single-Task-Messung des Ganges*

	Mit Ansage	Mit kognitivem Task
Selbstgewählte bevorzugte Geschwindigkeit	2x = 1	2x = 2
Geschwindigkeit aus der Literatur (4.0 km/h)	2x = 3	2x = 4

*Anmerkung.* Jeder Kombination wurde eine Zahl zugeordnet (1-4) um die Reihenfolge zu randomisieren. Dabei wurden alle Bedingungen je zweimal (2x) getestet. Z. B. 1-4-3-2-1-4-3-2.

**2.2.6 Bedingungen Dual-Task.** Der Test wurde wie die Single-Task-Messung auf einem Laufband durchgeführt. Die Probanden hatten wiederum eine auf Augenhöhe markierte Stelle

an der gegenüberliegenden Wand, die sie während dem Gehen fixieren sollten. Das Laufband wurde auf die bei der Angewöhnungsphase selbstgewählte bevorzugte Geschwindigkeit eingestellt. Für den n-back-Test wurde das gleiche Schwierigkeitslevel (n-back/Frequenz) wie für den Single-Task gewählt. Sobald die Probanden bereit waren, wurde der n-back-Test gestartet und nach 15 s wurde der Gang mit dem OptoGait aufgenommen. Die Treffer wurden wieder mit einem Horn in der Hand signalisiert. Der kognitive Test dauerte jeweils eine Minute. Die Probanden mussten zwei bis drei Dual-Task-Messungen durchführen. Nach jedem Versuch erhielten die Probanden wiederum ihr Resultat und wurden gefragt, ob sie sich noch konzentrieren können und bereit sind für einen erneuten Test. Das Schwierigkeitslevel (n-back/Frequenz) blieb immer dasselbe. Anhand der Daten wurde folglich resultiert wie viele Messungen nötig sind, damit aus einer genügend grossen Menge an Daten die Dual-Task-Kosten berechnet werden konnten, aber die Leistung der Probanden durch ungenügenden Konzentration und Müdigkeit nicht abnahm.

## **2.3 Messmethoden**

**2.3.1 N-back-Test.** Mit dem Programm Audacity wurden auditive Files von Reihen mit Zahlen von 1 bis 9 erstellt. Diese Files liefen über einen Lautsprecher mit einer Frequenz von 1, 1.5 oder 2 s/Zahl (1 s, 1.5 s oder 2 s) ab. Ein Test dauerte jeweils eine Minute. Die Probanden hielten ein Horn in der Hand und mussten signalisieren sobald sie die gleiche Zahl, wie eine, zwei oder drei Positionen zurück hörten (1-, 2- oder 3-back). Die Fehler wurden manuell gezählt, dabei wurde unterschieden zwischen einem Treffer, der nicht signalisiert wurde, oder einer Zahl, die fälschlicherweise als Treffer signalisiert wurde (falscher Alarm). Damit die Kontrolle optimal erfolgen konnte, wurden die Listen der Zahlenreihen ausgedruckt und die Fehler direkt angekreuzt.

**2.3.2 Ganganalyse.** Der Gang wurde mit dem OptoGait erfasst. Das OptoGait-System bietet eine zuverlässige Methode um den Gang räumlich und zeitlich zu analysieren (Gomez Bernal, Becerro-de-Bengoa-Vallejo & Losa-Iglesias, 2016). In dieser Studie zeigten elf Variablen eine hohe Zuverlässigkeit (Total Kontaktzeit, Schrittzeit, Schrittlänge, Geschwindigkeit, Doppelschrittlänge, Gangzyklus, einzelne und doppelte Unterstützungsphase, Standphase, Schwungphase und flache Fussphase) und sechs wurden als zuverlässig ausgewertet (Distanz, Fersenkontaktphase, Ablösungsphase, Gewichtsübernahme, Vorschwungphase und Kadenz). Nur zwei Variablen, die Beschleunigung und die progressive Schrittzeit waren keine zuverlässigen Angaben. Damit der Gang während einer längeren Zeitperiode und folglich einer

gewissen Distanz erfasst werden konnte, fand er auf einem Laufband statt. Zusätzlich wurde eine konstante Geschwindigkeit gewährleistet. Das OptoGait liess sich dazu auf den seitlichen Laufbandabdeckungen fixieren. Die Kombination dauerte jeweils eine Minute (Bsp. eine Minute Gehen mit der selbstgewählten bevorzugten Geschwindigkeit und dem kognitiven 1-back-Task), aber mit dem OptoGait wurde erst nach ca. 15 s für 30 s gemessen. Dabei war es wichtig, dass die Aufnahme immer dann gestartet wurde, sobald der rechte Fuss nach dem Start-Befehl als erster auftrat. Für die Analyse wurden alle Daten in ein Excel-Dokument transferiert. Anhand der Mittelwerte und Variationskoeffizienten und gestützt auf die Studie von Gomez et al. (2016) wurden die aussagekräftigsten Parameter ausgewählt.

## **2.4 Datenauswertung**

Für die Datenauswertung wurde von den 30 s der Bewegungsdaten Gangzyklen von allen Individuen extrahiert. In einer deskriptiven Statistik wurden fünf Gangparameter zu den verschiedenen Situationen (Single- und Dual-Task) gerechnet: Standphase, Single-Support, Asymmetrie Schrittlänge links versus rechts, Zeit des Gangzyklus und Doppelschrittlänge. Der Gang wird jeweils in Zyklen eingeteilt, diese beginnen mit dem Bodenkontakt der Ferse und enden mit dem erneuten Auftreten desselben Fusses. Die erste Phase dieses Zyklus wird Standphase genannt und ist der Gewicht tragende Moment, bei dem die Zeitdauer der Abstützmomente desselben Fusses gemessen wird («Optogait», 2016). Diese Phase wird als Prozentsatz des gesamten Gangzyklus dargestellt und beträgt durchschnittlich 60 % («Optogait», 2016). Die restlichen 40 % bestehen aus der Schwungphase desselben Fusses und entsprechen dem Single-Support des anderen Fusses. Dementsprechend gibt der Single-Support den Prozentsatz an, wie lange ein einziger Fuss auf dem Boden auftritt («Optogait», 2016). Um eine Asymmetrie zwischen dem linken und rechten Fuss zu erfassen, wird die Schrittlänge des rechten Fusses von der Schrittlänge des linken Fusses subtrahiert. Die Doppelschrittlänge bezeichnet den über einen Schrittzzyklus zurückgelegten Weg. Für die Standphase und den Single-Support wurde der Mittelwert berechnet. Der Asymmetrie-Index zwischen Rechts (R) und Links (L) wurde mittels  $L-R$  ermittelt. Die Zeit eines Gangzyklus und die Doppelschrittlänge wurden als Mittelwert und Variationskoeffizient (CV) angegeben. Der CV wurde berechnet aus der Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert ( $CV = SD/Mittelwert \times 100$ ; Beauchet et al., 2003). Für die kognitive Leistung wurde die Anzahl Fehler gezählt, das heisst, sobald ein Treffer vergessen oder ein falscher Alarm ausgelöst wurde.

Mit Student'schen t-Tests wurde die Single- mit der Dual-Task-Leistung (für jeden Parameter und beide Gruppen separat) sowie die Dual-Task-Kosten in den einzelnen Parametern zwi-

schen den jüngeren und den älteren Erwachsenen verglichen. Für den Vergleich zwischen Single-Task vs. Dual-Task innerhalb der beiden Probandengruppen wurde ein zweiseitiger, gepaarter t-Test angewendet. Für den Vergleich der Dual-Task-Kosten zwischen jüngeren und älteren Erwachsenen wurde ein zweiseitiger, Zweistichproben-t-Test angewendet. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Tests auf  $\alpha = 0.05$  festgelegt. Alle statistischen Berechnungen wurden mit den Statistikfunktionen von Microsoft Excel vorgenommen.

### 3 Resultate erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen

#### 3.1 N-back-Test

Während der Angewöhnungsphase des kognitiven Tests saßen die Probanden, dabei hatten vier Probanden die Augen geöffnet und zwei Probanden geschlossen. In Abbildung 3 ist die Angewöhnungsphase an den n-back-Test dargestellt. Bei den jungen Erwachsenen sind die Fehler jeweils mit der Erhöhung des Schwierigkeitslevels (n-back/Frequenz) angestiegen. Starker Anstieg bei 3-back/1 s. Bei beiden Probandengruppen konnte der 1-back-Test fehlerfrei absolviert werden. Allerdings haben die älteren Erwachsenen bei 2- und 3-back mit der Frequenz von 1 s bedeutend mehr Fehler gemacht.

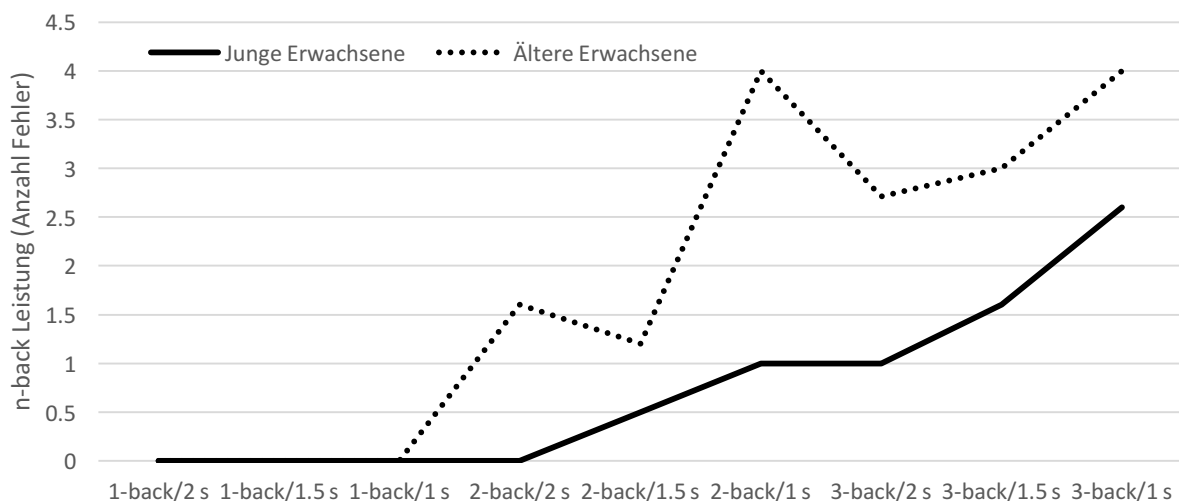


Abbildung 3. Angewöhnungsphase an den n-back-Test. N-back/Frequenz (s/Zahl).

#### 3.2 Gehen auf dem Laufband

Die Angewöhnungsphase dauerte 11 min. Alle zwei Minuten wurden 30 s aufgezeichnet. In Abbildung 4 sind die fünf Aufzeichnungen des CV der Doppelschrittlänge der jungen und älteren Erwachsenen dargestellt. Nach zehn Minuten hatte die ältere Probandengruppe einen CV der Doppelschrittlänge von 2.6 und die junge Probandengruppe 2.5 wobei sich bei den jungen Erwachsenen bereits nach sechs Minuten ihr Gang bei diesem Wert eingependelt hatte. Die Probanden wurden während dieser Phase beobachtet. Anfangs waren sie unsicher und mussten die Position auf dem Laufband finden (nicht zu weit hinten oder zu weit vorne). Nach einigen Minuten sah man eine Entspannung in der Körperhaltung und die Arme bewegten sich lockerer mit den Beinen mit. Gegen Ende, nach neun, zehn Minuten, wurde der Rhythmus gefunden und die Probanden haben angefangen sich zu langweilen. Dies hat sich dadurch gezeigt, dass einige begonnen haben zu sprechen, sich nach dem Studienleiter nach

Hinten umgedreht haben oder in Gedanken verloren waren und dadurch kleine Schwankungen im Gleichgewicht zeigten.

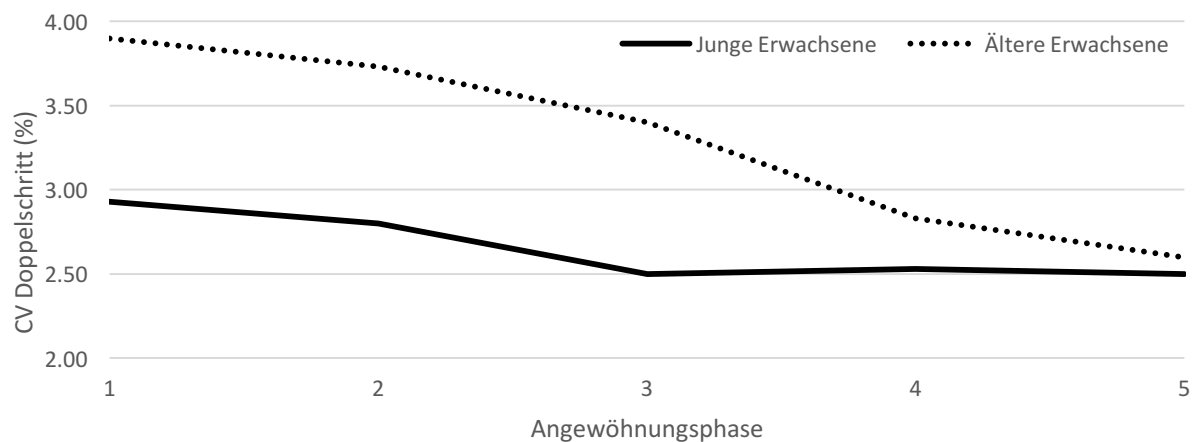


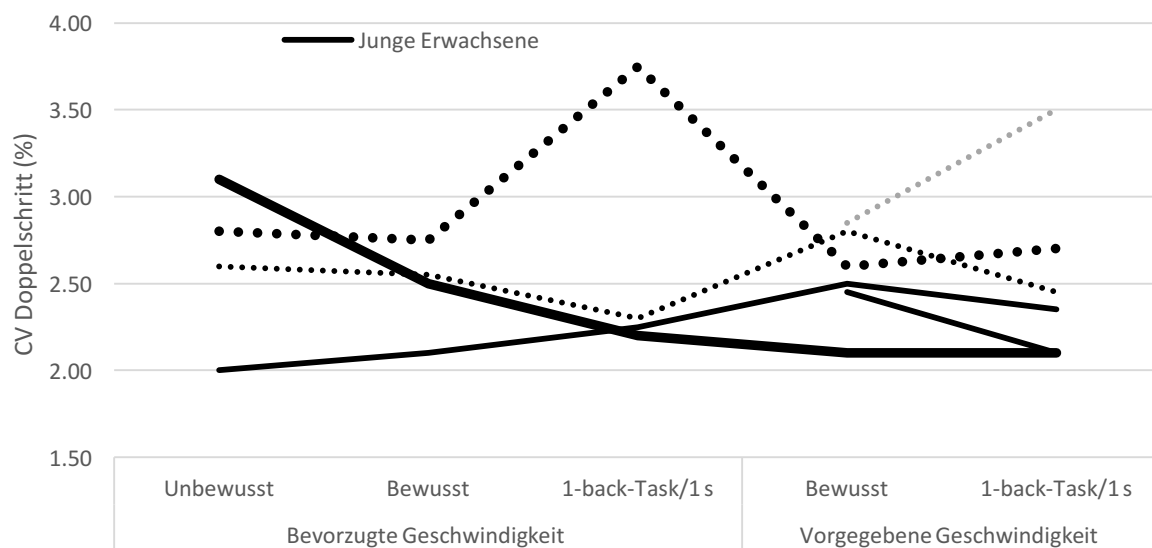
Abbildung 4. Angewöhnungsphase des Gehens auf dem Laufband während 11 min. Alle 2 min. wurde der Gang während 30 s aufgenommen. Variationskoeffizient (CV).

Die Probanden haben ihre bevorzugte Geschwindigkeit auf dem Laufband selber eingestellt. Diese fiel bei allen Probanden, verglichen mit der Geschwindigkeit aus der Literaturrecherche, eher langsam aus. Die vorgegebene Geschwindigkeit war 4 km/h und die selber eingestellt Geschwindigkeit war bei den jungen Erwachsenen 4.1 km/h und bei den älteren Erwachsenen 3.4 km/h.

Die fett gepunkteten Linien in Abbildung 5 sind die Werte eines älteren Probanden, welcher 2.7 km/h als seine bevorzugte Geschwindigkeit gewählt hat. Der Proband benutzte zum ersten Mal ein Laufband. Durch den erhöhten Lärmpegel des Laufbandes und den Zwang zum Gehen wurde seine Entscheidung beeinflusst. Diese sehr langsame Geschwindigkeit hat seinen Gang, bei zusätzlichem kognitivem Task, stark beeinträchtigt, dadurch ist dieser hohe CV-Wert von 3.8 entstanden. Die anderen Probanden wählten Geschwindigkeiten zwischen 3.6 und 4.5 km/h. Daraus konnte keine Tendenz zwischen bevorzugter oder vorgegebener Geschwindigkeit festgestellt werden. Streicht man die Geschwindigkeit von 2.7 km/h aus der Liste und berechnet den Mittelwert der bevorzugten Geschwindigkeit aller Probanden, erhält man 3.98 km/h.

Ob die Testperson über den Start einer Ganganalyse informiert wurde oder nicht, hat bei einer Person (fett durchgezogene Linie, Abbildung 5) einen Unterschied von 0.6 (CV Doppelschrittlänge) ergeben. Streicht man diesen Wert aus der Liste und berechnet die Unterschiede der bewussten und unbewussten Aufnahme der restlichen Probanden, erhält man den Mittelwert 0. Folglich spielt es keine Rolle, ob der Proband darüber in Kenntnis gesetzt wird, dass eine

Messung erfolgt. In der Grafik rechts der Abbildung 5 sind zwei zusätzliche Probanden aufgeführt, welche die vorgegebene Geschwindigkeit als ihre bevorzugte angegeben haben. Die grau gepunktete Linie sind die Werte eines 72-jährigen Probanden. Beim 1-back-Task/1 s war sein CV der Doppelschrittlänge 0.7 höher (mehr Variation in der Länge der Doppelschritte) als ohne zusätzlichen kognitiven Task. Bei den restlichen Probanden konnte nicht bestimmt werden, ob ein zusätzlicher kognitiver Task ablaufen sollte oder nicht. Die Resultate der einzelnen Probanden gehen zu stark auseinander



**Abbildung 5.** Die Werte stellen den Variationskoeffizienten der Doppelschrittlänge der verschiedenen Gangbedingungen während 30 s Gehen auf dem Laufband dar. Bevorzugte Geschwindigkeit: selbstgewählte Geschwindigkeit der Probanden. Vorgegebene Geschwindigkeit: 4 km/h. Unbewusst: Messung erfolgte während der Angewöhnungsphase, Probanden wurden nicht über die Messung in Kenntnis gesetzt. Bewusst: Proband wurde über die Messung in Kenntnis gesetzt. 1-back-Task/1 s: Messung erfolgte während einem leichten kognitiven Task. (1-back/1 s). N-back/Frequenz (s/Zahl). Variationskoeffizient (CV).

### 3.3 Dual-Task-Kosten

In der Tabelle 2 sind die Dual-Task-Kosten aufgeführt. Aus den Mittelwerten, der jeweils 2-3 Versuche der Probanden, wurde der Gruppenmittelwert und die Standardabweichung ermittelt. Durch die grosse Standardabweichung ist ersichtlich, dass es innerhalb der Probandengruppen starke Unterschiede gab. In den Dual-Task-Kosten ergab sich kein signifikanter Altersunterschied. Im kognitiven Task gab es nur bei den jungen Erwachsenen Dual-Task-Kosten von 16.7 %. Die älteren Erwachsenen erzielten im kognitiven Task bessere Resultate in der Dual-Task-Situation. Die Dual-Task-Kosten für den CV der Doppelschrittlänge betrugen über alle Bedingungen gesehen im Durchschnitt bei den älteren Erwachsenen 1.9 % und bei den jungen Erwachsenen -0.8 %.



Tabelle 2

*Dual-Task-Kosten (%)*

			Junge Erwachsene ( <i>n</i> = 3)	Ältere Erwachsene ( <i>n</i> = 3)		
			M ± SD		<i>t</i>	
Gehen	CV Doppelschritt	unbewusst	-5.5 ± 18.5	7.8 ± 23.4	0.48	
		Bevorzugt	bewusst	3.6 ± 8.0	2.5 ± 28.4	0.96
		kognitiv	6.8 ± 6.5	-9.4 ± 1.0	0.07	
		Vorgegeben	Bewusst	-7.3 ± 23.7	6.8 ± 28.4	0.54
			kognitiv	-1.5 ± 17.9	1.6 ± 20.6	0.85
n-back-Test	Anzahl Fehler	Bevorzugt	16.7 ± 76.4	-28.9 ± 25.2	0.38	

*Anmerkung.* Die Werte stellen die Dual-Task-Kosten während 30 s Gehen auf dem Laufband und gleichzeitigem n-back-Test dar. M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung. Variationskoeffizient (CV). t = t-Statistik für den jeweiligen Vergleich Single-Task vs. Dual-Task. Für die Single-Task-Messung des Gehens wurden jeweils fünf Bedingungen getestet. Bevorzugt: selbstgewählte Geschwindigkeit der Probanden. Vorgegeben: Geschwindigkeit vorgegeben gemäss Literatur 4 km/h. Unbewusst: Messung erfolgte während der Angewöhnungsphase, Probanden wurden nicht über die Messung in Kenntnis gesetzt. Bewusst: Proband wurde über die Messung in Kenntnis gesetzt. Kognitiv: Messung erfolgte während einem leichten kognitiven Task (1-back/1 s).

In der Tabelle 3 sind die Single-Task- und Dual-Task-Werte der einzelnen Gangparameter aufgeführt. Bei beiden Probandengruppen änderten sich die Gangparameter von Single- zu Dual-Task nur sehr gering und es gab keine signifikanten Unterschiede. Die älteren Erwachsene hatten in der Dual-Task-Situation eine längere Standphase, einen kürzeren Single-Support und eine kürzere Doppelschrittlänge. Weiter variierten der Gangzyklus und die Doppelschrittlänge stärker während der Dual-Task-Situation. Bei den jungen Erwachsenen war es genau umgekehrt. In der Dual-Task-Situation war die Standphase kürzer, der Single-Support sowie die Doppelschrittlänge länger und der CV des Gangzyklus und der Doppelschrittlänge war minim gering.

Tabelle 3

*Single-Task- und Dual-Task-Werte einzelner Gangparameter*

		Junge Erwachsene ( $n = 3$ )			Ältere Erwachsene ( $n = 3$ )		
		Single-Task	Dual-Task		Single-Task	Dual-Task	
		M $\pm$ SD		$t$	M $\pm$ SD		$t$
L-R	Schritt (%)	-2.0 $\pm$ 0.4	-0.3 $\pm$ 1.1	0.18	2.0 $\pm$ 3.13	2.0 $\pm$ 4.6	1.00
M	Standphase (%)	70.0 $\pm$ 0.9	68.7 $\pm$ 4.2	0.60	69.2 $\pm$ 1.3	70.8 $\pm$ 0.9	0.27
	Single-Support (%)	29.9 $\pm$ 0.9	31.4 $\pm$ 4.2	0.57	30.8 $\pm$ 1.3	29.4 $\pm$ 1.3	0.50
	Gangzyklus (s)	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	0.23	1.1 $\pm$ 0.0	1.2 $\pm$ 0.1	0.24
	Doppelschritt (cm)	132.5 $\pm$ 11.6	133.2 $\pm$ 4.4	0.93	124.0 $\pm$ 4.7	115.9 $\pm$ 8.5	0.27
CV	Gangzyklus (%)	1.6 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.1	0.74	1.8 $\pm$ 0.4	2.1 $\pm$ 0.8	0.76
	Doppelschritt (%)	2.2 $\pm$ 0.1	2.2 $\pm$ 0.4	0.89	2.9 $\pm$ 0.6	3.0 $\pm$ 0.7	0.91

*Anmerkung.* Die Werte stellen die Gangparameter während 30 s Gehen auf dem Laufband in Single- und Dual-Task-Bedingungen dar. Geschwindigkeit vorgegeben 4 km/h. Bei Single-Task-Messung mit 1-back-Task. M  $\pm$  SD = Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Schrittlänge links minus Schrittlänge rechts (L-R). Variationskoeffizient (CV).  $t$  = t-Statistik für den jeweiligen Vergleich Single-Task vs. Dual-Task.

## **4 Diskussion erste Studie: Testen der Parameter und Bedingungen**

### **4.1 N-back-Test**

Da die Single- und die Dual-Task-Messung auf dem Laufband stattfinden wird und die Mehrheit der Probanden die Augen bereits in der Angewöhnungsphase im Sitzen offen hatten, werden in der zweiten Studie alle Probanden instruiert, die Augen offen zu halten. Dies erlaubt ihnen sich bereits in der Angewöhnungsphase an die Testbedingungen zu gewöhnen.

Die Angewöhnungsphase sollte auch dazu dienen, ein Leistungsplateau zu erreichen. Dies konnte aber nicht erreicht werden, denn das Testen der Niveaus dauert bereits bis zu 25 min. Länger sollte diese Phase nicht dauern, ansonsten lässt die Konzentration nach und die Resultate bei den darauffolgenden Messungen werden verfälscht. Damit die Probanden den n-back-Test kennenlernen können ist ein 1-back mit der Frequenz 1.5 s ratsam, danach sollte aber bereits mit einem schwierigeren Niveau weitergefahren werden. Aus dem Graphen der Angewöhnungsphase (Abbildung 3) geht hervor, dass bei den jungen Erwachsenen ein 3-back/1.5 s und bei den älteren Erwachsenen ein 2-back/1.5 s angepasst wäre. Es wurde beobachtet, dass es zu starken Verwirrungen führt, wenn die Probanden von Tests mit 2- zu 3-back und zurück wechseln müssen. Daher wird das Schwierigkeitslevel konstant bleiben und jeweils sechsmal wiederholt um zu überprüfen, ob ein Leistungsplateau entsteht.

Ein weiteres Problem in der ersten Studie war, dass nicht alle Files gleich viele Treffer hatten. Die Fehler wurden unterschieden zwischen einem Treffer der nicht gemeldet oder fälschlicherweise gemeldet wurde. 76 % der Fehler waren aber Treffer die nicht gemeldet wurden. Daher verändert es die Resultate massiv, ob es im File zwei oder sechs Treffer gab. Für die zweite Studie wurden daher die Files angepasst. Alle Files für die Single-Task-Messung enthalten nun vier Treffer und jene für die Angewöhnungsphase variieren zwischen zwei bis sechs Treffern. Bei den zwei bis drei durchgeführten Single-Task-Messungen waren die Werte jeweils identisch oder hatten eine Abweichung von nur einem Fehler. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass der daraus resultierende Mittelwert nicht auf Glück oder Zufall basiert. Daher sind für die Single-Task-Messung zwei Durchgänge genügend.

### **4.2 Gehen auf dem Laufband**

In der Abbildung 4 ist gut ersichtlich, dass besonders bei den älteren Erwachsenen eine Angewöhnungsphase wichtig ist. Dieses Resultat bestätigt die Erkenntnis von Schellenbach et al. (2010), dass vor allem ältere Personen eine ausreichende Einarbeitung in das Laufband erhalten sollten. In der Studie von Schellenbach et al. (2010) wurden 20 min. als ausreichend an-

gegeben. Durch diese neuen Resultate und Beobachtungen sollte die Angewöhnungsphase aber nicht zu lange dauern, dementsprechend werden in der zweiten kleinen Studie zehn Minuten angewendet.

Aus den Resultaten zur Einstellung der selbstgewählten bevorzugten Geschwindigkeit geht hervor, dass die Probanden die Tendenz haben, das Laufband zu langsam einzustellen. Die meisten Probanden hatten das Laufband zum ersten Mal oder lange nicht mehr benutzt. Zusätzlich ist es ungewohnt, eine konstante erzwungene Geschwindigkeit zu gehen. Das Laufband hat einen relativ hohen Lärmpegel, was den Probanden das Gefühl vermittelt schneller zu Gehen als es eigentlich der Fall ist. Dies führte dazu, dass die Laufbandgeschwindigkeit von den Probanden zu tief eingestellt wurde und daher nicht mit ihrer alltäglichen Ganggeschwindigkeit korrespondiert. Daher sollte das Laufband vom Studienleiter, gemäss Literaturrecherche, neuen Resultaten und Beobachtungen, auf 4 km/h eingestellt werden.

Ob die Single-Task-Messung des Gehens bewusst, unbewusst oder mit kognitivem Task ablaufen sollte konnte nicht eindeutig ermittelt werden. Bei einer Testperson ergab die unbewusste Messung einen höheren CV Doppelschritt als die bewusste (Abbildung 5). In diesem Fall ist es möglich, dass die Person an etwas Bestimmtes dachte oder ihr wurde langweilig (die Messung erfolgte jeweils nach zehnminütiger Angewöhnungsphase) und sich dabei ihre Schrittlänge veränderte. Bei den restlichen Probanden konnte kein wesentlicher Unterschied verzeichnet werden, ob sie über die Messung in Kenntnis gesetzt wurden. Bei einem älteren Probanden beeinflusste der leichte kognitive Task seinen Gang vermutlich bereits zu stark. Dies bestätigt die Erkenntnis, dass für ältere Menschen bereits zwei einfache Aufgaben zu einer Verschlechterung der Leistung führen können. Da aber die Gedanken ohne die zusätzliche Aufgabe nicht kontrolliert werden können und die Werte der restlichen Probanden nicht stark variierten, ist es zu empfehlen, die Single-Task-Messung mit einem 1-back durchzuführen, aber die Frequenz von 1 s auf 1.5 s zu verringern.

#### **4.3 Dual-Task-Kosten**

Die jungen Erwachsenen zeigten bei der kognitiven Aufgabe Dual-Task-Kosten (16.7 %). Daraus kann man schliessen, dass sie entgegen der Literaturrecherche, die Bewegungsabläufe priorisiert haben oder dass sich der Gang durch den zusätzlichen kognitiven Task automatisiert und sich dadurch die Gangvariabilität verringert hat. Diese Annahme wird gestärkt durch die geringere Variation des Gangzyklus und der Doppelschrittlänge während der Dual-Task-Situation. Bei den älteren Erwachsenen sind nur bei der motorischen Aufgabe Dual-Task-Kosten entstanden. Auch in diesem Fall entspricht es nicht den Erwartungen, dass die älteren

Erwachsenen dazu neigen, die motorische Aufgabe zu priorisieren. Die Vermutung, dass die kognitive Aufgabe priorisiert wurde zeigt sich weiter durch die erhöhte Variation des Gangzyklus und der Doppelschrittlänge. Zusätzlich spricht eine längere Standphase und kürzere Doppelschritte für eine Unsicherheit während dem Gehen.

Zwei Dual-Task-Messungen waren genügend. Die Anzahl Fehler im n-back-Test waren identisch oder hatten lediglich eine Abweichung von drei Fehlern, wobei hier zu erwähnen ist, dass die Files nicht alle gleich viele Fehler aufwiesen. Beim CV der Doppelschrittlänge gab es zwischen den zwei Dual-Task-Messungen bei drei Probanden keine Abweichungen und bei drei Probanden maximal 1.4 %.

## **5 Methoden zweite Studie: Finales Design testen**

### **5.1 Probanden**

Fünf Probanden zwischen 26 und 35 Jahren (drei weiblich, zwei männlich) und fünf Probanden zwischen 70 und 78 Jahren (zwei weiblich, drei männlich) haben an der zweiten Studie teilgenommen. Ausschlusskriterien waren wiederum Anzeichen von kognitiven oder sensorischen Defiziten. Die Probanden wurden über das Ziel- und den Ablauf der Studie informiert.

### **5.2 Untersuchungsdesign**

Wie in der ersten Studie wurde die Angewöhnungsphase an den n-back-Test und das Gehen auf dem Laufband stets vor den Messungen durchgeführt. Anschliessend wurde die Reihenfolge der Tests (Single-Task n-back-Test, Single-Task Gehen und Dual-Task) randomisiert.

**5.2.1 Angewöhnungsphase n-back-Test.** Während der Angewöhnungsphase sassen die Probanden vor einem Tisch und wurden instruiert während dem Test die Augen offen zu halten. Damit sich die Probanden an die Computerstimme gewöhnen und den Test kennenlernen konnten, wurde einmalig ein 1-back mit der Frequenz 1.5 s abgespielt. Anschliessend absolvierten die jungen Erwachsenen viermal 3-back/1.5 s, sobald eine Leistungsverbesserung verzeichnet werden konnte, wurde noch zwei bis dreimal mit dem gleichen Niveau weiter trainiert. Falls keine Verbesserung eintrat, wurde das Niveau nach unten angepasst und mit 3-back/2 s trainiert. Die Älteren Erwachsenen durchliefen sechsmal 2-back/1.5 s als Trainingseinheit. War das Niveau zu einfach (0-1 Fehler) wurde die Schwierigkeit erhöht auf 3-back/2 s. Die Probanden erhielten nach jedem Versuch ihr Resultat und wurden angespornt, diesen Wert möglichst bei jedem Versuch zu verbessern.

**5.2.2 Schwierigkeitslevel: n-back/Frequenz.** Durch die Trainingsphase wurde ersichtlich, ob das Schwierigkeitslevel für die individuellen Probanden angemessen war. Daraus resultierte dann das Niveau für die Single-Task-Messung.

**5.2.3 Bedingungen n-back-Test.** Die Probanden mussten während der Single-Task-Messung auf dem ausgeschalteten Laufband stehen und die Augen offenhalten, damit die Bedingungen nicht zu stark von denen der Dual-Task-Messung abwichen. Ihr Blick war auf eine Markie-

rung an der gegenüberliegenden Wand gerichtet. Es wurden zwei Single-Task-Messungen durchgeführt.

**5.2.4 Angewöhnungsphase Gehen auf dem Laufband.** Die Probanden mussten sich zuerst an das Laufband gewöhnen, dazu wurde vom Studienleiter die Geschwindigkeit kontinuierlich bis auf 4 km/h gesteigert. Darauf folgte eine Angewöhnungsphase von zehn Minuten. Die Probanden wurden instruiert dabei nicht zu Sprechen und auf eine auf Augenhöhe markierte Stelle an der gegenüberliegenden Wand zu schauen.

**5.2.5 Bedingungen Ganganalyse.** Die Single-Task-Messung des Gehens erfolgte bei vorgegebener Geschwindigkeit (4 km/h) auf dem Laufband. Die Probanden fixierten dabei eine auf Augenhöhe markierte Stelle an der gegenüberliegenden Wand. Während einer Minute konnten sich die Probanden einlaufen, dann wurde für eine Minute ein 1-back-Test mit der Frequenz 1.5 s gestartet und die Probanden hatten ein Horn in der Hand und mussten signalisieren sobald sie eine Zahl zweimal nacheinander hörten. Nach 15 s wurde der Gang für 30 s aufgezeichnet. Dieser Test wurde nach einer Minute wiederholt um zwei Single-Task-Werte zu erhalten.

**5.2.6 Bedingungen Dual-Task.** Der Dual-Task-Test wurde wie die Single-Task-Messung auf einem Laufband durchgeführt. Die Probanden hatten wiederum eine auf Augenhöhe markierte Stelle an der gegenüberliegenden Wand, die sie während dem Gehen fixieren sollten. Das Laufband wurde auf die vorgegebene Geschwindigkeit (4 km/h) eingestellt. Für den n-back-Test wurde das gleiche Schwierigkeitslevel (n-back/Frequenz) wie für den Single-Task gewählt. Während einer Minute konnten sich die Probanden einlaufen, anschliessend wurde der n-back-Test gestartet und nach 15 s wurde der Gang mittels dem OptoGait aufgenommen. Die Treffer wurden wieder mit einem Horn in der Hand signalisiert. Die Probanden mussten, nach einer aktiven Minute auf dem Laufband, eine zweite Dual-Task-Messungen absolvieren. Nach dem ersten Versuch erhielten die Probanden ihr Resultat und wurden gefragt ob sie sich noch konzentrieren können und bereit sind für einen erneuten Test.

### **5.3 Messmethoden**

Die Messmethoden des n-back-Tests und des Ganges waren dieselben wie in der ersten Studie (siehe Punkt 2.3).

#### **5.4 Datenauswertung**

Die Datenauswertung war dieselbe wie in der ersten Studie (siehe Punkt 2.3).



## 6 Resultate zweite Studie: Finales Design testen

### 6.1 N-back-Test

Bei der Angewöhnungsphase an den n-back-Test konnte, trotz sechsmaligem Wiederholen desselben Niveaus, weder bei den jungen noch den älteren Erwachsenen ein Leistungsplateau erreicht werden (Abbildung 6). Bei beiden Probandengruppen ergab die zweite Messung sowohl vom Single- als auch vom Dual-Task bessere Resultate (Tabelle 4). Die jungen Erwachsenen machten signifikant weniger Fehler beim n-back-Test in der Dual-Task-Situation als in der Single-Task-Situation ( $p = 0.01$ ). Dieses Resultat war der einzige signifikante Effekt dieser Studie.

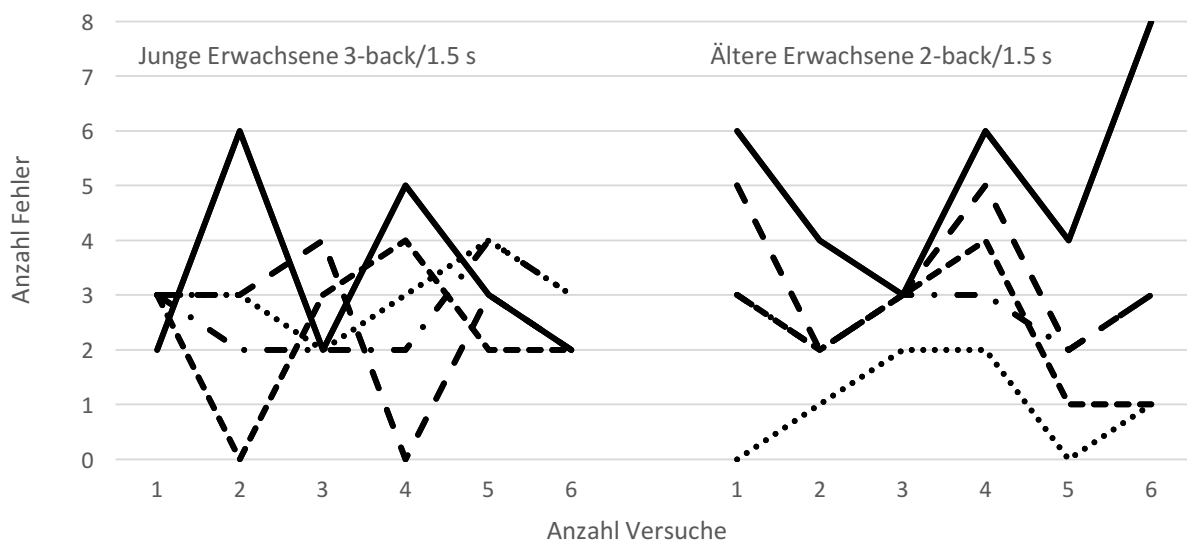


Abbildung 6. Angewöhnungsphase an den n-back-Test. N-back/Frequenz (s/Zahl).

Tabelle 4

Single- und Dual-Task-Werte n-back-Test

	Single-Task		Dual-Task		<i>t</i>
	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung	
	M ± SD		M ± SD		
Junge Erwachsene ( <i>n</i> = 5)	2.0 ± 0.7	1.6 ± 0.9	1.2 ± 0.8	0.8 ± 0.8	0.01*
Ältere Erwachsene ( <i>n</i> = 5)	4.6 ± 3.1	1.8 ± 0.8	2.8 ± 1.9	2.4 ± 1.8	0.38

Anmerkung. Die Werte stellen die Anzahl Fehler während dem n-back-Test in Single- und Dual-Task-Bedingungen dar. M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung.  $t$  = t-Statistik für den jeweiligen Vergleich Single-Task vs. Dual-Task ( $\alpha = 0.05$ ). \*Signifikanter Unterschied.

### 6.3 Gehen auf dem Laufband

Die Tabelle 5 zeigt die Single-Task- und die Dual-Task-Werte der einzelnen Gangparameter. Wie in der ersten durchgeführten Studie (Tabelle 3) änderten sich die Gangparameter nur sehr gering und es gab wiederum keinen signifikanten Effekt zwischen Single- und Dual-Task. Allerdings waren interessanterweise in dieser zweiten Studie die Effekte der Parameter Standphase, Single-Support und der CV des Gangzyklus und der Doppelschrittlänge zwischen den jungen und älteren Erwachsenen genau umgekehrt zur ersten Studie. Die älteren Erwachsenen hatten in der Dual-Task-Situation eine kürzere Standphase, einen längeren Single-Support und sowohl der Gangzyklus wie auch die Doppelschrittlänge variierten weniger stark. Wobei die jungen Erwachsenen beim Dual-Task eine längere Standphase, einen kürzeren Single-Support und eine stärkere Variation aufwiesen. Die Mittelwerte des Gangzyklus und der Doppelschrittlänge zeigten keine Veränderungen.

Tabelle 5

*Single-Task- und Dual-Task-Werte einzelner Gangparameter*

		Junge Erwachsene ( $n = 5$ )			Ältere Erwachsene ( $n = 5$ )		
		Single-Task		$t$	Single-Task		$t$
		Dual-Task			Dual-Task		
		M $\pm$ SD			M $\pm$ SD		
L-R	Schritt (%)	1.5 $\pm$ 3.5	0.3 $\pm$ 0.6	0.53	0.2 $\pm$ 6.0	1.3 $\pm$ 3.1	0.62
M	Standphase (%)	69.3 $\pm$ 2.6	70.5 $\pm$ 1.4	0.32	70.0 $\pm$ 1.1	68.9 $\pm$ 2.7	0.36
	Single-Support (%)	30.8 $\pm$ 2.5	29.5 $\pm$ 1.3	0.32	30.0 $\pm$ 1.1	31.1 $\pm$ 2.6	0.35
	Gangzyklus (s)	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	0.90	1.1 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	0.70
	Doppelschritt (cm)	131.0 $\pm$ 8.5	131.0 $\pm$ 7.1	0.98	119.8 $\pm$ 4.7	120.1 $\pm$ 3.4	0.83
CV	Gangzyklus (%)	1.4 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.3	0.47	1.7 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.4	0.95
	Doppelschritt (%)	2.0 $\pm$ 0.6	2.2 $\pm$ 0.6	0.12	2.8 $\pm$ 0.3	2.6 $\pm$ 0.4	0.33

*Anmerkung.* Die Werte stellen die Gangparameter während 30 s Gehen auf dem Laufband in Single- und Dual-Task-Bedingungen dar. Geschwindigkeit vorgegeben 4 km/h. Bei Single-Task-Messung mit 1-back-Task.  $M \pm SD$  = Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Schrittlänge links minus Schrittlänge rechts (L-R). Variationskoeffizient (CV).  $t$  = t-Statistik für den jeweiligen Vergleich Single-Task vs. Dual-Task ( $\alpha = 0.05$ ).

### 6.4 Dual-Task-Kosten

In der Tabelle 6 sind die Dual-Task-Kosten aufgeführt. Wie in der ersten Studie gab es starke Abweichungen innerhalb der Probandengruppen und es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen. Beim kognitiven Test gab es keine Dual-Task-Kosten, sowohl die jungen, als auch die älteren Probanden hatten bessere Resultate im kognitiven Test während gleichzeitigem Gehen. Die jungen Erwachsenen waren 44 % besser bei gleichzeitigem

Gehen. Allerdings hatten sie Dual-Task-Kosten beim Gehen durch minim mehr Gangvariabilität während dem n-back-Test (Tabellen 5 und 6). Bei den älteren Erwachsenen wurde mehr Gangvariabilität während dem Single-Task aufgezeichnet, sprich es sind keine Dual-Task-Kosten beim Gehen entstanden.

Tabelle 6

*Dual-Task-Kosten (%)*

		Junge Erwachsene ( $n = 5$ )	Ältere Erwachsene ( $n = 5$ )	
		M $\pm$ SD		$t$
Gehen	CV Gangzyklus	4.2 $\pm$ 11.1	-0.6 $\pm$ 22.4	0.70
	CV Doppelschritt	9.1 $\pm$ 9.8	-6.8 $\pm$ 14.8	0.09
n-back-Test	Anzahl Fehler	-44.4 $\pm$ 37.7	-18.8 $\pm$ 59.6	0.44

*Anmerkung.* Die Werte stellen die Dual-Task-Kosten während 30 s Gehen auf dem Laufband und gleichzeitigem n-back-Test dar. M  $\pm$  SD = Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung. Variationskoeffizient (CV).  $t$  = t-Statistik für den jeweiligen Vergleich Single-Task vs. Dual-Task.

## **7 Diskussion zweite Studie: Finales Design testen**

### **7.1 Diskussion zum Studien-Design**

**7.1.1 N-back-Test.** Um ein Leistungsplateau bei der Angewöhnungsphase zu erreichen, muss diese länger dauern als sechs Versuche. Es ist wichtig, den Probanden genügend Zeit zu geben, sich an den Test zu gewöhnen und Strategien zu entwickeln. Durch das Feedback der Probanden und die guten Ergebnisse die im Single- und Dual-Task erbracht wurden ist ersichtlich, dass die Konzentration nach zehn bis zwölf n-back-Tests noch nicht nachgelassen hatte. Entscheidend dafür war auch, dass die Probanden direkt auf einem festgelegten Niveau begonnen hatten und nicht alle Stufen (n-back und Frequenz) durchliefen. Folglich kann die Angewöhnungsphase länger dauern und dabei sichergestellt werden, dass während den Messungen kein Trainingseffekt wirkt. Das Schwierigkeitsniveau sollte dabei konstant bleiben, ausser wenn die Probanden stetig null Fehler machen, sollte das Niveau erhöht werden.

Um das Niveau besser bestimmen zu können, wäre es sinnvoll, bei allen n-back-Files sechs Treffer einzubauen. Damit kann auch ausgeschlossen werden, dass das Resultat auf Glück basiert. Die Niveaus 3-back für die jungen Erwachsenen und 2-back für älteren Erwachsenen bei einer Frequenz von 1.5 s hat sich bestätigt. In Ausnahmefällen könnte es sein, dass ein älterer Proband einen 3-back meistern kann oder bei einem jungen Probanden die Frequenz auf 2 s verlangsamt werden muss. Durch die Anpassung der einzelnen Leistungsniveaus können so hohe Kosten durch zu schwierige Aufgaben verhindert werden.

Nach jedem Versuch wurde der Testperson das Resultat mitgeteilt und die Art der Fehler genannt (nicht gemeldeter Treffer oder falscher Alarm). Die jungen Erwachsene haben Total 28 Fehler gemacht (Single- und Dual-Task), davon waren 25 % falscher Alarm. Die älteren Erwachsene haben Total 58 Fehler gemacht, mit 59 % falscher Alarm. Bei allen Treffern, die fälschlicherweise gemeldet wurden, handelte es sich um 2-back bei den jungen Probanden und 3-back bei den älteren Probanden. Daher ist es wichtig, zwischen den Testläufen auf die Art der Fehler hinzuweisen, das System nochmals genau zu erklären und sie anzuspornen, sich stark zu konzentrieren, um die Fehler zu minimieren.

**7.1.2 Gehen auf dem Laufband.** Die Angewöhnungsphase von zehn Minuten war für beide Probandengruppen optimal um sich an die Laufbandbedingungen zu gewöhnen. Der leichte kognitive Task 1-back/1.5 s war für alle Probanden fehlerfrei und problemlos zu bewerkstelligen. Allerdings hat es auch in der Dual-Task-Situation kaum oder gar keine Gangvariabilität gegeben.

**7.1.3 Dual-Task-Kosten.** Das Ausbleiben der Dual-Task-Kosten im kognitiven Task kann einerseits dadurch erklärt werden, dass das Stehen auf dem Laufband bereits Kosten verursachen kann. Demzufolge ist es zu empfehlen, die Single-Task-Messung im Sitzen auszuführen. Allerdings wurden in der Studie von Lövdén et al. (2008) ebenfalls keine signifikanten Effekte festgestellt, ob die Probanden die Tests (1- bis 4-back) sitzend oder gehend absolvierten. In der aktuellen Studie fanden es drei Probanden sogar einfacher während dem Gehen zu Denken. Dies bestätigt den einzigen signifikanten Effekt dieser Studie, dass die jungen Erwachsenen in der Dual-Task-Situation weniger Fehler beim n-back-Test machten und spricht für die Erkenntnis, dass eine motorische Aufgabe die Ausführung einer kognitiven Zweitaufgabe erleichtern kann (Fraizer & Mitra, 2008). Weiter legen die Resultate nahe, dass bei den Probanden das Gehen bei 4 km/h automatisch ablief und folglich kaum kognitive Ressourcen beanspruchte. Möglicherweise würde eine langsamere ungewohnte Laufgeschwindigkeit weniger automatisch ablaufen und somit mehr Aufmerksamkeit erfordern (Schaefer et al., 2010). Durch einen zusätzlichen kognitiven Task könnte sich, in einem solchen Fall, die Gangvariabilität erhöhen. Es ist möglich, dass genau solche ungewohnten Bedingungen, wie erzwungenermaßen sehr langsames oder schnelles Gehen, zu Gangvariabilität und schlimmstenfalls zu Stürzen führt. Zwei weitere Punkte welche die geringe Gangvariabilität erklären könnten sind, dass der n-back-Task durch die kontinuierliche Frequenz (Lövdén et al., 2008) und das Gehen auf dem Laufband, im Vergleich zum Gehen auf dem Boden (Wrightson & Smeeton, 2017), rhythmischen Einfluss nahmen. Wrightson und Smeeton (2017) haben herausgefunden, dass in einer Dual-Task-Situation, die Schrittzeit beim Gehen auf dem Boden, nicht aber auf dem Laufband variierte und halten fest, dass die Dual-Task-Kosten abhängig sind von der Modalität des Ganges. Im kognitiven Task gab es keine Leistungsänderung und interessanterweise haben die Probanden keinen Unterschied der Aufgabenschwierigkeit zwischen dem Gehen auf dem Boden und dem Laufband wahrgenommen. Die beiden Autoren vermuten, dass der Gang unterschiedlich gesteuert wird und dadurch auf modalitätsabhängige Kontrollstrategien zurückzuführen ist. Möglicherweise erfordert das Laufband weniger kognitive Kontrolle, da das Gehen extern gesteuert wird (Simoni et al., 2013). Dies stimmt mit den Beobachtungen überein, dass das Gangmuster mit einem externen Fokus, durch eine zusätzliche leichte kognitive Aufgabe, regelmässiger ablaufen kann (Verrel et al., 2009; Wulf et al., 2001). Diese Erkenntnisse können dazu verwendet werden, das Laufband für Rehabilitationzwecke bei Menschen mit kognitiver und assoziierter motorischer Beeinträchtigung einzusetzen (Simoni et al., 2013).

## 7.2 Diskussion zur Dual-Task-Theorie

In der zweiten Studie hat sich, anders als in der ersten, die Annahme bestätigt, dass die jungen Erwachsene den kognitiven Task priorisieren und dadurch minim mehr Gangvariabilität aufweisen. Dieses Ergebnis steht aber im Widerspruch mit Resultaten aus einer anderen Studie, in dieser die Gangvariabilität von jungen Erwachsenen abnahm, sobald die kognitive Belastung zunahm (Grabiner & Troy, 2005; Lövdén et al., 2008). Bei diesen Studien nahm die Gangvariabilität, bei steigendem Schwierigkeitsgrad der kognitiven Aufgabe, kontinuierlich ab. Dies zeugt davon, dass sobald die kognitive Aufgabe einfacher ist, mehr Aufmerksamkeit der Bewegung gilt und somit das Gehen weniger automatisch abläuft (Lövdén et al., 2008).

Allerdings wurde, entgegen der Erwartung, bei den älteren Erwachsenen die Gangparameter durch die zusätzliche Aufmerksamkeitsbelastung nicht beeinflusst. Zur ähnlichen Erkenntnis kamen auch andere Studien, die keine signifikante Gangvariabilität bei älteren Erwachsenen feststellten (Gabell & Nayak, 1984; Hausdorff, Edelberg, Mitchell, Goldberger & Wei, 1997; Lövdén et al., 2008). Möglicherweise lief der Gehprozess der Probanden, entgegen der normalen Alterung, noch weitgehend automatisch ab und hat somit keinen Ressourcenwettbewerb ausgelöst. Diese Ergebnisse legen auch nahe, dass diese Probandengruppe aktuell nicht gefährdet ist bei doppelter Belastung zu stürzen. Diese Annahme wird gestärkt durch die Ergebnisse aus der Studie von Hausdorff et al. (1997), in dieser alle Messungen der Gangvariabilität signifikant höher waren bei älteren Personen die bereits Sturzerfahrung hatten. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass jene Probandengruppe mit Sturzerfahrung zwischen 77 und 88 Jahren waren und jene ohne Sturzerfahrung zwischen 72 und 81 (Hausdorff et al., 1997).

Abschliessend kann man sagen, ob die kognitive Last und die Gangvariabilität linear abnehmen, zunehmen oder quadratisch sind, ist vor allem abhängig von der kognitiven Aufgabenschwierigkeit und der individuell verfügbaren kognitiven und sensomotorischen Ressourcen (Lövdén et al., 2008).

## 8 Schlussfolgerung

Ziel dieser Studie war es, ein geeignetes Design für eine Dual-Task-Studie zu erstellen um eine Alltätlichkeit wie Gehen in Kombination mit einer kognitiven Aufgabe zu untersuchen. Dabei sind folgende relevante Erkenntnisse entstanden:

- Die Angewöhnungsphase der kognitiven Aufgabe (n-back-Task) sollte sitzend stattfinden und mit einem 1-back/1.5 s (n-back/Frequenz) beginnen, gefolgt von 10-12 Durchläufen mit demselben Niveau, 3-back/1.5 s für junge Erwachsene und 2-back/1.5 s für ältere Erwachsene.
- In jedem n-back-File sollten sechs Treffer eingebaut sein.
- Das Schwierigkeitsniveau sollte lediglich bei zu einfachem Niveau oder bei nicht eintretender Verbesserung angepasst werden, in diesem Fall muss wiederum eine Angewöhnungsphase erfolgen. Dasselbe Niveau wird anschliessend für die Single- und Dual-Task-Messung verwendet.
- Die Single-Task-Messung vom n-back-Test sollte sitzend stattfinden.
- Die Ganganalyse auf dem Laufband bei kontinuierlicher Geschwindigkeit von 4 km/h erfordert eine Angewöhnungsphase von zehn Minuten.
- Die Single-Task-Messung vom Gang sollte von einer leichten kognitiven Aufgabe (1-back/1.5 s) begleitet werden.
- Alle Messungen sollten zweimal durchgeführt werden.

Aus den Resultaten der finalen Studie ergaben sich in den Gangparametern zwischen Single- und Dual-Task kaum Veränderungen. Im kognitiven Task konnten die Probanden während der Dual-Task-Situation bessere Resultate erzielen. Die Gründe dafür können vielseitig sein, zumal die Stichprobengrösse ( $n=10$ ) eher klein war. Eine zu kurze Dauer der Angewöhnungsphase an den n-back-Test, zu junge ältere Erwachsene oder ein automatischer Bewegungsablauf bei vorgegebene Geschwindigkeit von 4 km/h der kaum Ressourcen beanspruchte, sind mögliche Gründe. Ein weiterer Punkt, der eine Erkenntnis aus der Literatur bestätigt ist, dass eine einfache motorische Aufgabe die Ausführung einer kognitiven Zweitaufgabe erleichtern kann.

## Literatur

- Anderson, M., Bucks, R.S., Bayliss, D. M. & Sala, S.D. (2011). Effect of age on dual-task performance in children and adults. *Memory and Cognition*, 39, 1241-1252.
- Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A. & Larsen, H. C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58(1), 135–139.
- Beauchet, O., Kressig, R. W., Najafi, B., Aminian, K., Dubost, V. & Mourey, F. (2003). Age-related decline of gait control under a dual-task condition. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(8), 1187-1188.
- Beilock, S. L., Bertenthal, B. I., McCoy, A. M. & Carr, T. H. (2004). Haste does not always make waste: Expertise, direction of attention, and speed versus accuracy in performing sensorimotor skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 373-379.
- Bock, O. (2008). Dual-task costs while walking increase in old age for some, but not for other tasks: an experimental study of healthy young and elderly persons. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 5(27).
- Bohannon, R. W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: Reference values and determinants. *Age and Ageing*, 26, 15-19.
- Bohannon, R. W. (2008). Population representative gait speed and its determinants. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 31(2), 49-52.
- Dault, M. C., Yardley, L. F. & Frank, J. S. (2003). Does articulation contribute to modifications of postural control during dual-task paradigms? *Cognitive Brain Research*, 16(3), 434-440.
- Eggenberger, P., Tomovic, S., Münzer, T., de Bruin, E. D. (2017). Older adults must hurry at pedestrian lights! A cross-sectional analysis of preferred and fast walking speed under single- and dual-task conditions. *PLoS ONE*, 12(7).
- Fraizer, E. V. & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, 27, 271-279.
- Gabell, A. & Najak, U. S. (1984). The effect of age on variability in gait. *Journal of Gerontology*, 39(6), 662-666.
- Gomez Bernal, A., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R. & Losa-Iglesias, M. E. (2016). Reliability of the OptoGait portable photoelectric cell system for the quantification of spatial-temporal parameters of gait in young adults. *Gait & Posture*, 50, 196-200.



- Grabiner, M. D. & Troy, K. L. (2005). Attention demanding tasks during treadmill walking reduce step width variability in young adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(25).
- Hausdorff, J. M. (2005). Gait variability: methods, modeling and meaning. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2(19).
- Hausdorff, J. M., Edelberg, H. K., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L. & Wei, J. Y. (1997). Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(3), 278-283.
- Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F. & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain research Bulletin*, 69, 294-305.
- Krampe, R. Th., Schaefer, S., Lindenberger, U. & Baltes, P. B. (2010). Lifespan changes in multi-tasking: Concurrent walking and memory search in children, young and older adults. *Gait & Posture*, 33(2011), 401-405.
- Lim, J., Amado, A., Sheehan, L. & Van Emmerik, R. E. A. (2015). Dual task interference during walking: The effects of texting on situational awareness and gait stability. *Gait & Posture*, 42, 466-471.
- Lindenberger, U., Marsiske, M. & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15(3), 417-436.
- Lövdén, M., Schaefer, S., Pohlmeier, A. E. & Lindenberger, U. (2008). Walking variability and working-memory load in aging: A dual-process account relating cognitive control to motor control performance. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 63B(3), 121-128.
- Lövdén, M., Schellenbach, M., Grossmann-Hutter, B., Krüger, A. & Lindenberger, U. (2005). Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging*, 20(4), 683-694.
- Maylor, E. A., Allison, S. & Wing, A.M. (2001). Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. *British Journal of Psychology*, 92(2), 319–338.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Reviews Neuroscience*, 24, 167-202.
- Optogait [Benutzerhandbuch]. (2016) Zugriff unter <http://www.optogait.com/OptoGaitPortal/Media/Manuals/Manual-DE.PDF>

- Rosenbaum, D. A. (2005). The Cinderella of psychology: The neglect of motor control in the science of mental life and behavior. *American Psychologist*, 60(4), 308–317.
- Ruffieux, J., Keller, M., Lauber, B. & Taube, W. (2015). Changes in standing and walking performance under dual-task conditions across the lifespan. *Sports Medicine*, 45, 1739-1758.
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive-motor dual-tasking: findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, 5(1167).
- Schaefer, S., Lövdén, M., Wieckhorst, B. & Lindenberger, U. (2010). Cognitive performance is improved while walking: Differences in cognitive-sensorimotor couplings between children and young adults. *European journal of developmental psychology*, 7(3), 371-389.
- Schellenbach, M., Lövdén, M., Verrel, J., Krüger, A. & Lindenberger, U. (2010). Adult age differences in familiarization to treadmill walking within virtual environments. *Gait & Posture*, 31, 295-299.
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *Journals of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), 10-16.
- Simoni, D., Rubbieri, G., Baccini, M., Rinaldi, L., Becheri, D., Forconi, T.,...Di Bari, M. (2013). Different motor tasks impact differently on cognitive performance of older persons during dual task tests. *Clinical Biomechanics*, 28(6), 692-696.
- Siu, K. C. & Woollacott, M. H. (2007). Attentional demands of postural control: the ability to selectively allocate information-processing resources. *Gait & Posture*, 25(1), 121-126.
- Teasdale, N., Bard, C., LaRue, J. & Fleury, M. (1993). On the cognitive penetrability of posture control. *Experimental Aging Research*, 19(1), 1–13.
- Verrel, J., Lövdén, M., Schellenbach, M., Schaefer, S. & Lindenberger, U. (2009). Interacting effects of cognitive load and adult age on the regularity of whole-body motion during treadmill walking. *Psychology and Aging*, 24(1), 75-81.
- Vuillerme, N., Nougier, V. & Teasdale, N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, 291(2), 77–80.
- Wrightson, J. G. & Smeeton, N. J. (2017). Walking modality, but not task difficulty, influences the control of dual-task walking. *Gait & Posture*, 58, 136-138.

Wulf, G., McNevin, N. & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 54(4), 1143-1154.

## **Dank**

Mein Dank gilt allen, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt und motiviert haben.

Den Probanden, die sich Zeit für meine Studie genommen haben.

Meinen Eltern für die grosse moralische Unterstützung und das Interesse während meines ganzen Studiums.

Ganz besonders gilt dieser Dank Jan Ruffieux für die grosse Hilfsbereitschaft während dieser Arbeit.