

## **Geschwindigkeits-Genauigkeitsabgleich und Körperhaltung: Altersbedingte Unterschiede bei der Balancekontrolle**

Gerhard RINKENAUER, Thorsten PLEWAN

*Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund  
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

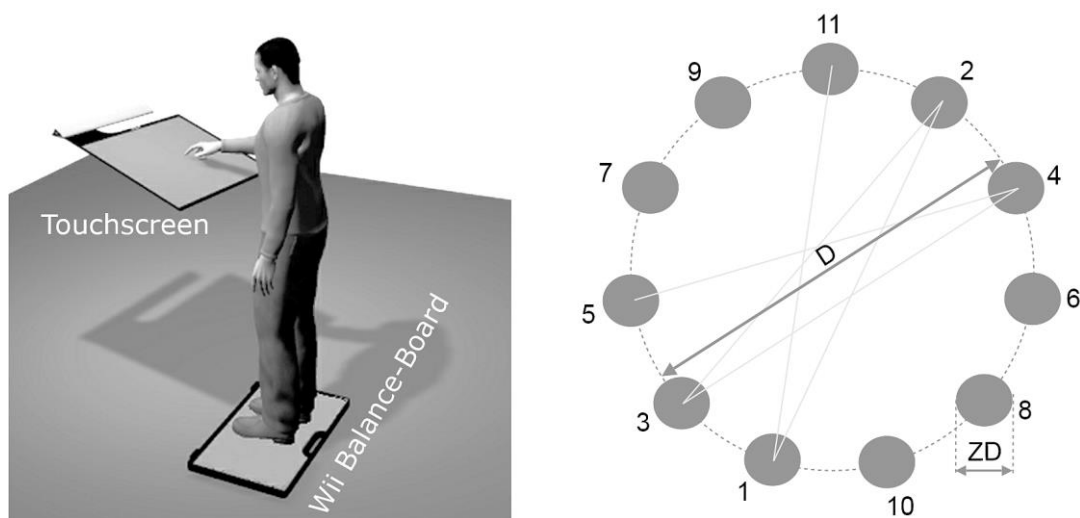
**Kurzfassung:** Mit zunehmendem Alter wird die Kontrolle der aufrechten Körperhaltung schwieriger. In der vorliegenden Studie wurde überprüft, inwieweit sich unterschiedliche Geschwindigkeits- und Genauigkeitsanforderungen an Handbewegungen auf die Haltungsstabilität auswirken. Hierzu wurden 10 jüngere und 10 ältere Probanden instruiert Zielbewegungen im aufrechten Stand auszuführen. Bei dieser Aufgabe wurden die Bewegungsweite sowie die Zielweite systematisch variiert. Die Haltungsstabilität wurde über die Variabilität des Körperschwerpunktes mit Hilfe eines Wii Balance-Boards bestimmt. Insgesamt wirken sich die Anforderungen an die Handbewegungsmuster kaum auf die Haltungskontrolle aus. Darüber hinaus zeigen ältere Probanden eine niedrigere Variabilität in der Haltungskontrolle, was durch eine eher genauigkeitsorientierte Bewegungsstrategie bedingt sein könnte.

**Schlüsselwörter:** Zielbewegungen, Körperhaltung, Haltungsstabilität, Altern

### **1. Einleitung**

Es gibt zwei unterschiedliche motorische Fähigkeiten, die kritisch für die Koordination von Bewegungen sind. Die erste Fähigkeit beinhaltet willkürliche Handlungen wie beispielsweise die Auge-Handkoordination bei der Ausführung von Ziel- und Greifbewegungen. Die zweite Fähigkeit beinhaltet die Haltungskontrolle, das heißt die Stabilisierung des Gleichgewichtes. Nahezu jede Bewegung die von einem Individuum ausgeführt wird, stützt sich auf beide Fähigkeiten. Die Haltungskontrolle, die den Körper stabilisiert und die willkürliche Bewegungskontrolle, die in Verbindung mit einem bestimmten Bewegungsziel steht (Massion & Wollacott, 2004). Beide Fähigkeiten sind für die Ausführung vieler Arbeitstätigkeiten von essentieller Bedeutung. Allerdings werden sie durch das Altern negativ beeinflusst (z. B. Rinkenauer, 2008). Es gibt Hinweise, dass mit abnehmender Zuverlässigkeit der motorischen Fähigkeiten immer mehr kognitive Ressourcen eingesetzt werden müssen, um Defizite in der motorischen Kontrolle zu kompensieren. Einschränkungen in der Kraftproduktion, der Bewegungsgeschwindigkeit und -genauigkeit, in der präzisen Koordination der Bewegungen sowie in der Beweglichkeit führen zu einer zunehmenden De-Automatisierung. Bewegungsaufgaben die im frühen und mittleren Erwachsenenalter nahezu unbewusst durchgeführt werden konnten, scheinen im Alter immer mehr bewusster Kontrolle zu bedürfen. Tatsächlich belegen eine Reihe von empirischen Befunden aus den letzten 10 bis 20 Jahren, dass vor allem im höheren Alter sensomotorischen Aufgaben immer mehr Aufmerksamkeitsressourcen gewidmet werden müssen (für eine Übersicht siehe z. B. Huxhold, Schäfer, Lindenberger, 2009; Krampe, Rapp,

Bondar & Baltes, 2003). Beispielsweise wurden einfache Gedächtnisexperimente durchgeführt während die Versuchspersonen Gehen oder die Körperbalance halten mussten. Die Ergebnisse legen nahe, dass die schwindende Effizienz der Sensomotorik ältere Menschen dazu zwingt, mehr Aufmerksamkeit auf die Kontrolle ihrer Körperhaltung zu richten als jüngere Menschen (Lindenberger, 2002; Lindenberger et al., 2000). Folglich wird angenommen, dass die Leistungen Älterer insbesondere dann beeinträchtigt sind, wenn sie eine sensomotorische und eine kognitive Aufgabe gleichzeitig verrichten. Bisher kaum untersucht ist die Frage, inwieweit die Kontrolle der Körperhaltung durch motorische Anforderungen der oberen Extremitäten beeinflusst wird. Solche Anforderungen spielen beispielsweise bei der Interaktion mit Maschinen und Robotern eine wichtige Rolle. Ziel der vorliegenden Studie ist daher zu untersuchen, inwieweit sich die Haltungskontrolle von jüngeren und älteren Probanden unterscheiden, wenn unterschiedliche Geschwindigkeits-Genauigkeitsanforderungen an die Bewegungsausführung der oberen Extremitäten gestellt werden.



**Abbildung 1:** Linke Seite: Skizze des Versuchsaufbaus mit Touchscreen und dem Wii Balance-Board. Rechte Seite: Fitts-Aufgabe nach Soukoreff & MacKenzie (2004). Manipuliert wurden die Bewegungsdistanz  $D$  und der Zieldurchmesser  $ZD$ .

## 2. Methode

Zur Manipulation unterschiedlicher Geschwindigkeits-Genauigkeitsanforderungen wurde die von Soukoreff & MacKenzie (2004) vorgeschlagene Version der Fitts'schen Bewegungsaufgabe verwendet. Hierzu wurden die Probanden gebeten auf einem Touchscreen ( $B = 375 \text{ mm}$ ,  $H = 300 \text{ mm}$ ; Auflösung:  $1280 \times 1024 \text{ Pixel}$ ) Zielbewegungen zwischen kreisförmig angeordneten Zielen durchzuführen (Abbildung 1, rechts). Zur Messung der Haltungsstabilität wurde eine Kraftmessplatte (Wii Balance-Board) aus der elektronischen Unterhaltungsindustrie verwendet. Das Wii Balance-Board ist bei sorgfältiger Kalibrierung zur Messung von Veränderungen des Körperschwerpunktes geeignet (Leach et al., 2014). Entsprechend nach Leach und Kollegen wurde das Wii Balance-Board vor jeder Experimentalsitzung neu kalibriert. Eine wesentliche Einschränkung des Wii Balance-Board im Vergleich zu

professionellen Kraftmessplatten ist, dass damit nur vertikale aber keine horizontalen Reaktionskräfte gemessen werden können.

Der Versuch fand in einem normal beleuchteten Raum statt. Es wurden 10 jüngere Personen (20-27 Jahre) und 10 ältere Personen (61-77 Jahre) instruiert im aufrechten Stand Zielbewegungen entsprechend der oben beschriebenen Fitts'schen Aufgabe durchzuführen (Abbildung 1, links). Dabei wurden zwei Distanzen (kurz = 130 mm, lang = 260 mm) orthogonal mit 3 Zieldurchmessern (6,5; 13; 34,5 mm) kombiniert. Jede Kombination wurde innerhalb eines Blocks 10-mal wiederholt. Innerhalb einer Kombination mussten 13 Zielbewegungen ausgeführt werden. Um Lern- und Ermüdungseffekte beurteilen zu können wurden 5 aufeinanderfolgende Blöcke durchgeführt. Nach jedem Block wurde eine Pause eingelegt, in der die Probanden sich setzen konnten. Vor dem ersten Experimentalblock wurde ein Übungsblock durchgeführt, um die Probanden mit der Aufgabe vertraut zu machen.

Als abhängige Variablen wurden Bewegungszeit, effektive Zielweite, Bewegungsbeschleunigung und Variabilität des Körperschwerpunktes ermittelt. Bewegungszeit und effektive Zielweite sind Standardparameter zur Beurteilung des Geschwindigkeits-Genauigkeitsabgleiches im Kontext des Fitts'schen Paradigmas (Soukoreff & MacKenzie, 2004). Die effektive Zielweite ist dabei ein Maß für die Streuung der Zielbewegungen um den Mittelpunkt des Bewegungsziels. Um Veränderungen in den Beschleunigungskräften für die unterschiedlichen Bewegungsbedingungen abschätzen zu können, wurden zusätzlich die mittlere Beschleunigung aus der Bewegungsdistanz und der Bewegungszeit berechnet. Als Indikator für die Stabilität der Körperhaltung diente die Variabilität (Standardabweichung) des Körper-schwerpunktes (Center of Pressure).

Es wird erwartet, dass sich sowohl direkte Veränderungen in der Bewegungszeit und der Genauigkeit, als auch indirekte Lern- oder Ermüdungseffekte über die Blöcke hinweg auf die Stabilität bzw. Variabilität der Körperhaltung auswirken sollten. Die entsprechenden Veränderungen sollten daher in der Variabilität des Körperschwerpunktes gefunden werden. Zentral für die Untersuchung ist zudem die Frage, inwieweit sich jüngere und ältere Probanden in ihren Leistungsparametern und in der Stabilisierung des Körperschwerpunktes unterscheiden. Die nachfolgenden Untersuchungsergebnisse wurden vor diesem Hintergrund zusammengestellt.

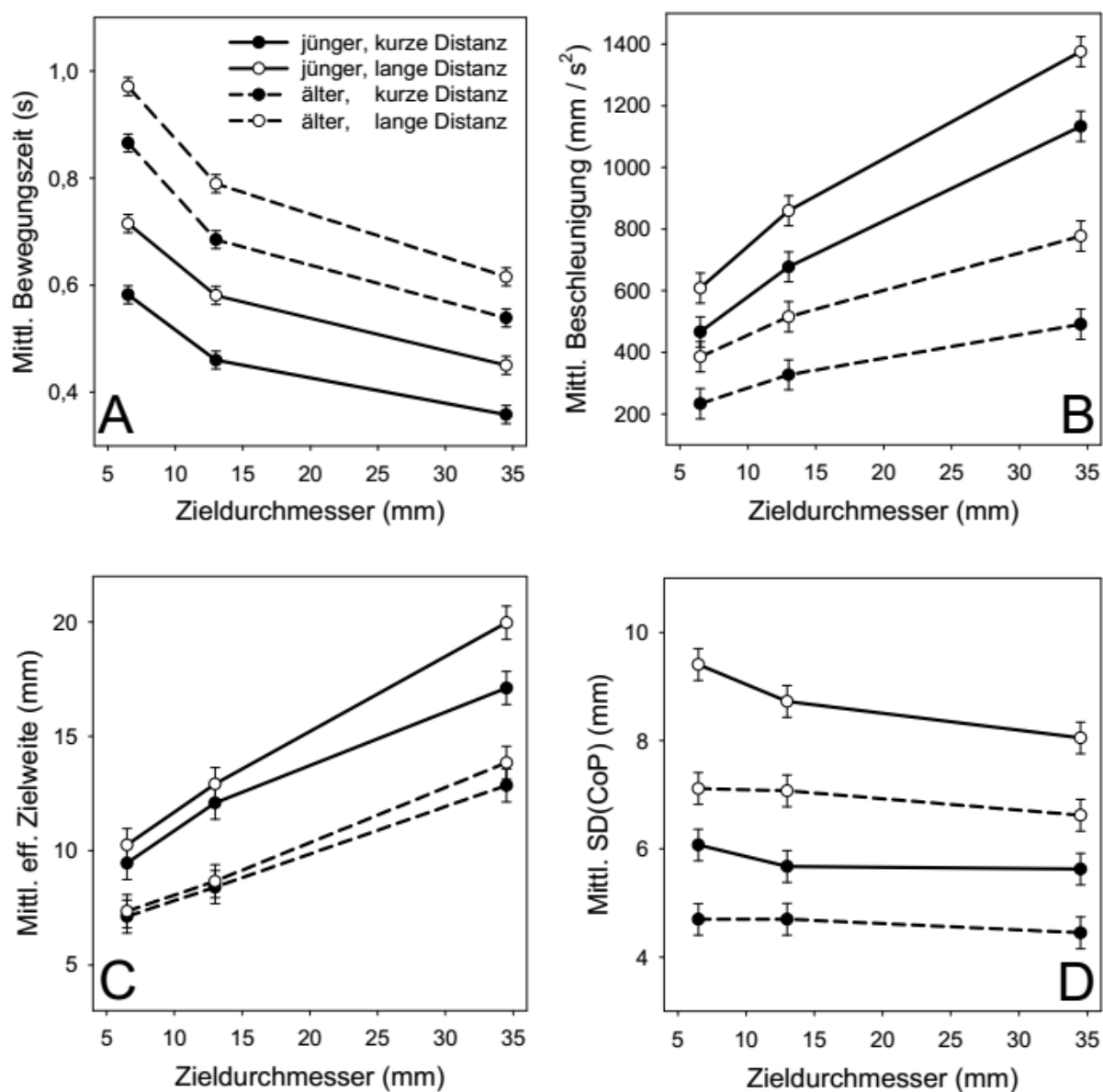
### 3. Ergebnisse

Es wurden für jeden Probanden die Mittelwerte der abhängigen Variablen für die einzelnen Bewegungsbedingungen (Distanz-Zieldurchmesser-Kombinationen) und Blöcke ermittelt. Im Gegensatz zu den oben erwähnten Erwartungen zeigten sich nur generelle Lerneffekte (Haupteffekte) für die Bewegungsvariablen ( $F(4,72) > 6.4$ ,  $p < .01$ ) nicht aber für die Variabilität des Körperschwerpunktes ( $F(4,72) = 0.1$ ,  $p > .90$ ). Daher wurden für die abhängigen Variablen jeweils nur eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Distanz (kurz; lang) und Zieldurchmesser (6,5; 13; 34,5 mm) durchgeführt.

Die Bewegungszeiten (Abb. 2 A) wurden wie erwartet kürzer im Zusammenhang mit größeren Zieldurchmessern ( $F(2,36) = 58.4$ ,  $p < .001$ ) und kürzeren Distanzen ( $F(1,18) = 133.0$ ,  $p < .001$ ). Dabei waren die Bewegungszeiten der jüngeren Probanden generell kürzer als die von älteren ( $F(1,18) = 12.1$ ,  $p < .05$ ). Der Einfluss

der Distanz auf die Bewegungszeit ist für kleinere Zieldurchmesser größer als für große Zieldurchmesser ( $F(2,36) = 9.9, p < .01$ ).

Die mittlere Bewegungsbeschleunigung (Abb. 2 B) nimmt sowohl mit größerem Zieldurchmesser ( $F(2,36) = 122.6, p < .001$ ) als auch mit größeren Distanzen zu ( $F(1,18) = 39.5, p < .001$ ). Der Einfluss der Distanz nimmt mit größeren Zieldurchmessern zu ( $F(2,36) = 12.3, p < .001$ ). Bei jüngeren Probanden zeigen sich insgesamt höhere Beschleunigungswerte als bei älteren ( $F(1,18) = 8.5, p < .05$ ), wobei bei den jüngeren Probanden der Beschleunigungszuwachs für größere Zieldurchmesser höher ist als bei den älteren Probanden ( $F(2,36) = 17.7, p < .001$ ).



**Abbildung 2:** (A) Mittlere Bewegungszeit, (B) Mittlere Beschleunigung, (C) Mittlere effektive Zielweite und (D) Mittlere Standardabweichung des Körperschwerpunkts (CoP: Center of Pressure), jeweils für jüngere und ältere Probanden, als Funktion von Zieldurchmesser und Bewegungsdistanz. Die Fehlerbalken repräsentieren Fishers least significant distance.

In Bezug auf die effektive Zielweite (Abb. 2 C) nimmt diese sowohl mit zunehmendem Zieldurchmesser ( $F(2,36) = 160.5, p < .001$ ), als auch mit zunehmender Bewegungsdistanz zu ( $F(1,18) = 28.4, p < .01$ ). Dabei zeigen jüngere Probanden eine größere effektive Zielweite als ältere ( $F(1,18) = 9.9, p < .05$ ). Dies deutet darauf hin, dass die älteren Probanden ihre Bewegungen genauer ausführen. Der Einfluss der Distanz auf die Zielweite nimmt mit größeren Zieldurchmessern zu ( $F(2,36) = 10.2, p < .01$ ). Diese Zunahme ist bei den jüngeren Probanden stärker als bei den älteren ( $F(1,18) = 7.2, p < .05$ ). Der Zuwachs der effektiven Zielweite nimmt für größere Zieldurchmesser bei den jüngeren ab und den älteren zu ( $F(2,36) = 4.5, p < .05$ ).

Die Variabilität der Position des Körperschwerpunktes (Abb. 2 D) nimmt mit zunehmender Zielweite ab ( $F(2,36) = 11.1, p < .01$ ) und mit längeren Bewegungsdistanzen zu ( $F(1,18) = 59.5, p < .001$ ). Ältere zeigen im Mittel eine niedrigere Variabilität des Körperschwerpunktes, für diesen Unterschied zeigt sich jedoch nur ein Trend ( $F(1,18) = 3.7, p = .07$ ), was womöglich durch die relativ geringe Stichprobengröße zu erklären ist. Die Variabilität des Körperschwerpunktes wird mit zunehmendem Zieldurchmesser weniger von der Bewegungsdistanz beeinflusst ( $F(2,36) = 9.6, p < .01$ ).

Zusammenfassend legen die Befunde nahe, dass ältere Probanden ihren Geschwindigkeits- Genauigkeitsabgleich eher zugunsten der Genauigkeit und jüngere eher zugunsten der Geschwindigkeit justieren. Die Variabilität des Körperschwerpunktes scheint von diesen unterschiedlichen Abgleichstrategien allerdings nur wenig beeinflusst zu sein. Tendenziell scheinen die älteren Probanden eine niedrigere Variabilität des Schwerpunktes aufzuweisen. Allerdings spiegeln sich weder die Interaktionsmuster für die Beschleunigung noch für die effektive Zielweite in der Variabilität des Körperschwerpunktes wider.

#### 4. Diskussion

Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Studie war, inwieweit sich Geschwindigkeits- und Genauigkeitsanforderungen an Zielbewegungen der oberen Extremitäten auf die Stabilität der Körperhaltung von älteren und jüngeren Probanden auswirken. Die Befunde zum Bewegungsverhalten, nämlich, dass ältere Probanden Zielbewegungen langsamer und mit höherer Genauigkeit durchführen entsprechen den Ergebnissen früherer Studien (für einen Überblick siehe z. B. Rinkenauer, 2008). Interessanterweise zeigen ältere Probanden, zumindest tendenziell, niedrigere Werte in der Variabilität des Körperschwerpunktes als jüngere. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass ältere Probanden Zielbewegungen generell langsamer und somit mit niedrigeren Beschleunigungskräften durchführen als jüngere Probanden. Alternativ könnten sie insgesamt eine Tendenz zu einer höheren Genauigkeit in der Bewegungsausführung haben, was ebenfalls eine stabilere Körperhaltung erfordert. Allerdings spiegelt sich die starke Zunahme der Beschleunigungskräfte mit höheren Zieldurchmessern in der Variabilität des Körperschwerpunktes nicht wider. Es zeigt sich sogar ein eher gegenläufiger Verlauf der Schwerpunktvariabilität. Generell sprechen die Befunde erst einmal gegen die oben formulierten Erwartungen, wonach sich Veränderungen in den Bewegungseigenschaften von Zielbewegungen direkt in der Stabilitätskontrolle der Körperhaltung widerspiegeln sollten. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass durch die eher einfachen Bewegungsaufgaben die Kontrolle des

Körperschwerpunktes, sowohl von den jüngeren als auch den älteren, gleichermaßen gut an die Bewegungsanforderungen angepasst werden konnte. Dadurch wird jedoch eine Analyse des direkten Einflusses der einzelnen Bewegungsparameter auf die Haltungsverstabilität erschwert und ist auf Basis der gemittelten Daten nur schwer einzuschätzen. In zukünftigen Untersuchungen sollen daher Bewegungsanalyseverfahren eingesetzt werden, die es erlauben den zeitlichen Verlauf sowohl von Hand- und Oberkörperbewegungen als auch der Gewichtsverlagerungen genauer zu erfassen.

In Bezug auf frühere Untersuchungen wäre eine vorläufige Interpretation der insgesamt niedrigeren Variabilität des Körperschwerpunktes von älteren Probanden, dass eine eher genauigkeitsorientierte Ausführung der Aufgabe auch eine stabilere Körperhaltung als Basis erfordert. Die Sichtweise, dass ältere Personen generell eine langsamere, eher genauigkeitsbetonte Bewegungsstrategie bevorzugen, wurde aber bereits von Morgan und Kollegen in Frage gestellt (Morgan et al., 1994). Diese Autoren sehen als Ursache der Verlangsamung die Abnahme der sensomotorischen Fähigkeiten an. Eine Alternativerklärung für unsere Befunde könnte daher auch sein, dass ältere Personen langsamere Bewegungen mit niedrigeren Beschleunigungskräften durchführen. Dadurch werden Ressourcen eingespart, so dass die Haltungs- und Gleichgewichtskoordination nicht gefährdet wird. In zukünftigen Untersuchungen soll daher die Stabilität des Bewegungsuntergrundes systematisch manipuliert werden, um diese Alternativerklärung weiter erhellen zu können.

## 5. Literatur

- Huxhold O, Schäfer S, Lindenberger U (2009) Wechselwirkungen zwischen Sensomotorik und Kognition im Alter: Überblick über ein internationales Forschungsfeld. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 42: 93-98.
- Krampe RT, Rapp MA, Baltes PB (2003) Selektion, Optimierung und Kompensation in Doppelaufgaben. *Der Nervenarzt*, 74: 211-218.
- Leach JM, Mancini M, Peterka RJ, Hayes TL, Horak FB (2004) Validating and calibrating the Nintendo Wii balance board to derive reliable center of pressure measures. *Sensors* 14:18244-67. doi: 10.3390/s141018244.
- Li KZH, Lindenberger U (2002) Relations between aging and sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26: 777-783.
- Morgan M, Phillips JG, Bradshaw JL, Mattingley JB, Iansek R, Bradshaw JA (1994) Age related motor slowness: simply strategic? *Journal of Gerontology* 49:M133–M139.
- Massion J., Woollacott MH (2004) Posture and equilibrium. In: AM Bronstein, T Brandt, MH Woollacott, and JG Nutt (Eds.), *Clinical Disorders of Balance, Posture and Gait*. Arnold, London, 1–19.
- Lindenberger U, Marsiske M, Baltes PB (2000) Memorizing while walking: Increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging*, 15: 417-436.
- Rinkenauer, G. (2008) Motorische Leistungsfähigkeit im Alter. In: Schlag B (Ed.): *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter*. TÜV Media GmbH, Köln, 143-180.
- Soukoreff RW, MacKenzie IS (2004) Towards a Standard for Pointing Device Evaluation, *Perspectives on 27 Years of Fitts' Law Research in HCI*. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 61:751–789.

**Danksagung:** Wir bedanken uns bei Martin Behrendt und Tanja Groß für die Durchführung der Experimente und bei Hanno Mussmann für die Unterstützung bei der Programmierung und Datenaufbereitung. Darüber hinaus danken wir dem Land Nordrhein-Westfalen für die Förderung der Studie im Rahmen des Teilprojekts „Kognitive Ergonomie“ des Leistungszentrums für Logistik und IT.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)