

Volker Lippens & Volker Nagel

Alles im Lot? Begrenzte Ressourcen oder funktionale Integration bei dynamischen Gleichgewichts-Leistungen

KEEPING BALANCED? LIMITED RESOURCES OR FUNCTIONAL INTEGRATION OF ACTION IN DYNAMIC POSTURAL CONTROL

Zusammenfassung

Gelungene Gleichgewichts-Leistungen sind weder das Ziel bewusster Handlungen noch das Ergebnis unbewussten Verhaltens. Sie lassen sich angemessener als Affordanz-Extraktion konzeptionieren (Stoffregen, 2004) und unterliegen im jeweiligen Koordinations-Modus den spezifischen Zwängen von Person-, Aufgaben- und Umgebungs-Bedingungen (Newell, 1996). In einem Experiment mit älteren Seniorinnen und Senioren untersuchen wir die dynamische Gleichgewichts-Leistung mit einer perzeptiv-orientierten, supraposturalen Aufgabe auf dem Messkreisel. Im Unterschied zur Vorhersage des Ressourcen-Konzepts beeinflussen Zusatzaufgaben in dieser Sichtweise die Gleichgewichts-Leistung nicht zwangsläufig negativ, sondern können diese sogar positiv anregen. Die Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass die posturale Kontrolle nicht autonom, sondern funktional integriert als Teil eines spezifischen Informations-Bewegungs-Systems (Bootsma, 1998) abläuft.

Schlagworte: Gleichgewichtsleistung – Gleichgewichtstest – Bewegungskontrolle

Abstract

Dexterous postural control is neither the goal of conscious actions nor the result of unconscious behavior. It might be conceptualized in terms of affordance exploitation (Stoffregen, 2004). The optimal type of control depends upon the specific constraints of the subject, the task and the environment (Newell, 1996). In an experiment on senior citizens we investigate the performance of dynamical balance in combination with a supra-postural task (on the balance disc). Contrary to the prediction of the concept of resources, the performance of balance is not necessarily decreased, but rather increased by supra-postural tasks. The results support the hypothesis that postural control is not executed autonomously, but that it is functionally integrated as part of a broader information-movement system (Bootsma, 1998).

Key words: balance – balance test – motor control

1 Einleitung: Ausbalanciertes Bewegen

In diesem Artikel werden zuerst unterschiedliche Paradigmen in der Gleichgewichtsforschung verglichen, aus denen dann Schlussfolgerungen für die eigene forschungsmethodische Vorgehensweise abgeleitet werden. Am Beispiel einer Untersuchung mit älteren Seniorinnen und Senioren aus der Hamburger Inline-Skating-Schule werden die Ergebnisse aus einer Messkreisel-Studie mit supraposturalen

Aufgaben vorgestellt und Schlussfolgerungen für die Analyse der Gleichgewichtsleistung im aktuellen Handlungszusammenhang diskutiert.

Ziel dieses Forschungsansatzes ist es, die individuelle Bewegungskompetenz in der Dimension der Gleichgewichtsleistung mit einem geeigneten Verfahren zu überprüfen. Innerhalb der jeweiligen funktionellen Anforderungen spielt die Kontrolle des *dynamischen Systemgleichgewichts* (Trousil & Dvir, 1983) in gerätegebundenen Sportarten wie Roll-, Eis- und Schnee- oder Wassersport, aber auch im bewegten Alltag eine besondere Rolle. Die dazu notwendige Koordinationsleistung muss zwischen den Bewegungsmöglichkeiten des Individuums und den An- und Aufforderungen (*affordances*) der Umgebungsbedingungen (Stoffregen, 2004) unter Berücksichtigung von eigenen Handlungszielen und Einschränkungen durch die Aufgaben geschickt abgestimmt werden (vgl. auch Newell, 1996).

2 Koordinationsleistung: Geschicktes Wahrnehmen und Bewegen

Die menschliche Gleichgewichtsleistung wird nie nur für sich erbracht, sondern ist immer in den funktionalen Zusammenhang der jeweiligen übergeordneten Handlungsziele integriert (Riccio & Stoffregen, 1988). Innerhalb der Gleichgewichtsforschung lassen sich verschiedene Paradigmen (*moving room, moving platform, multiple tasks*) für die Bewegungswissenschaft ausmachen, die eine geschickte Gleichgewichtsleistung unterschiedlich konzeptionieren.

2.1 Klassische Gleichgewichtsforschung (quiet stance)

Zu Beginn stand das Paradigma des sich bewegenden Raums (*swinging resp. moving room*) in der Arbeitsgruppe um Lee (Lee & Aronson, 1974; Lee & Lishman, 1975; Lishman & Lee, 1973; vgl. auch Bertenthal & Bai, 1989). Unter einer systemischen Konzeptionierung wurde der Einfluss der visuellen Informationen auf die Gleichgewichts-Kontrolle untersucht und das Zusammenspiel von unterschiedlichen Subsystemen (vestibulär, somatosensorisch, visuell) betont. Dieser Funktionszusammenhang wird heute z. B. von Mergner und Maurer in ihrer Modellierung einer multisensorischen Kontrolle des Gleichgewichts (u.a. zur Weiterentwicklung ihres Gleichgewichts-Roboters) untersucht (Mergner, Maurer & Peterka, 2003; Maurer, Mergner & Peterka, 2006).

Das mit den Untersuchungen von Lee entwickelte Konzept eines ruhigen Stands (*quiet stance*) als anzustrebendes Ziel der Gleichgewichts-Kontrolle wird in neueren Arbeiten kritisiert (Riley, Stoffregen, Grocki & Turvey, 1999; Stoffregen, Hove, Bardy, Riley & Bonnet, 2007; vgl. auch bereits Fearing, 1924). So reinterpretieren Ehrenfried, Guerraz, Thilo, Yardley und Gresty (2003) die an die aktuellen Bedingungen des sich bewegenden Raums angepasste Gleichgewichtsleistung, die ein systematisches Schwanken zeigt, angemessener mit dem Konzept des explorativen Verhaltens (vgl. Riccio, 1993). Erhöhtes Schwanken bei indifferenten visuellen oder gar fehlenden Informationen wäre dann kein störendes Rauschen (vgl. van Emmerik 2007; van Emmerik & van Wegen, 2000, 2002), sondern ermöglicht zusätzlichen propriozeptiven Informationsgewinn, um sich Gewissheit über die konkurrierenden kinematischen und kinetischen Sinneseindrücke zu verschaffen. Genau dieser Effekt kann

mit der integrierenden Modellierung von Abwärts- und Aufwärts-Koordinations-Transformationen im Sinne von Mergner (2007; vgl. auch Maurer, Mergner & Peterka, 2006) plausibel erklärt werden: Die abwärts gerichteten Prozesse der verminderten visuellen Informationen lassen sich mit den aufwärts gerichteten Prozessen der vermehrten Informationen u.a. aus den Fußsohlen und den Gelenkwinkeln besser vergleichen und entsprechend kompensieren (vgl. Hsu, Scholz, Schöner, Jeka & Kiemel, 2007).

Wurden im *moving-room*-Paradigma die visuellen Informationen experimentell manipuliert, so variierte die Arbeitsgruppe um Nashner (z. B. Nashner & McCollum 1985; Horak & Nashner 1986) im Paradigma der bewegten Plattform (*moving platform*) die Unterstützungsfläche beim Stehen, um die Art der Reaktion auf diese Störung analysieren zu können. Translation bzw. Rotation einer Kraftmessplattform provozierten Ausgleichsbewegungen in den Beinen und der Hüfte, die sich anhand der dazugehörigen Muskelpotenziale in EMG-Studien rekonstruieren ließen. Anhand dieser Aktivitätsmuster hat Nashner (1977, 1992) je nach Ausmaß der Störung zwei unterschiedliche Strategien (*ankle-* und *hip-strategies*) identifizieren können, die aufgrund der Reaktionszeiten nicht zentral gesteuert, sondern synergetisch peripher geregelt werden müssen. In anschließenden Arbeiten haben die Arbeitsgruppen dann noch weitere Strategien (*suspensory-* und *stepping-strategies*) ausdifferenziert (vgl. auch van Emmerik, 2007; Woollacott & Jensen, 1994).

2.2 Neuere Gleichgewichtsforschung (suprapostural tasks)

Riccio (1993) wies als Erster auf den künstlichen Laborzusammenhang dieser Studien hin und betonte, dass das Gleichgewicht immer auch im alltäglichen Handlungszusammenhang von übergeordneten Aufgaben (*suprapostural tasks*) thematisiert werden muss. Im Unterschied zu experimentellen externen Störungen forderte er die Erforschung der Auswirkungen von gleichzeitigen, u.a. manuellen Aufgaben auf die Gleichgewichts-Leistung. Unter Verweis auf Gibson entwickelte Riccio dazu eine ökologische Mechanik (Shaw, Flascher & Kadar, 1995), die Abbruchkriterien für die Reichweite synergetischer Strategien (*ankle-* vs. *hip-strategy*) in einem hypothetischen Bewegungs-Wahrnehmungsraum aufzeigt (vgl. Riccio & Stoffregen, 1988).

In der Folge untersuchte insbesondere Stoffregen den Aspekt der supraposturalen Aufgaben mit seiner Arbeitsgruppe ausführlich experimentell (Stoffregen, Pagulayan, Bardy & Hettinger, 2000; Stoffregen, Smart, Bardy & Pagulayan, 1999). In einer neueren Arbeit schlugen die Autoren vor, bei supraposturalen Aufgaben zwischen vorrangig wahrnehmungsbezogenen motorischen und nicht-wahrnehmungsbezogenen kognitiven Anforderungen zu unterscheiden (Stoffregen et al., 2007). Damit erweiterte Stoffregen die Überlegungen zum Konzept der Doppelaufgaben (Woollacott & Shumway-Cook, 2002; vgl. auch Mitra & Fraizer, 2004) und führte das Konzept der funktionalen Integration von Gleichgewichts-Leistung in den übergeordneten Handlungszusammenhang ein (vgl. Bloem, Valkenburg, Slabbekoorn & van Dijk, 2001). Geschickte Gleichgewichts-Leistungen wären so Teil eines weiten Informations-Bewegungs-Systems (Bootsma, 1998), das die Interaktionen zwischen Akteur, Umwelt und Aufgabe im aktuellen Koordinations-Modus integriert (vgl. Newell, 1996).

Nicht alle Zusatzaufgaben müssen danach die Gleichgewichts-Leistung verschlechtern, indem sie um gemeinsame Ressourcen konkurrieren (Doumas, Smolders & Krampe, 2008; Krampe, Rapp, Bondar & Baltes, 2003; vgl. auch Fraizer & Mitra, 2008b, S. 439). Ein übergeordnetes Handlungsziel kann auch dazu führen, dass sich die Gleichgewichts-Leistung verbessert, um perzeptiv orientierte Aufgaben funktional zu unterstützen (visuell: Stoffregen et al., 1999, 2000, 2007; taktil: Holden, Ventura, & Lackner, 1987; Riley et al., 1999; präzise: Balasubramaniam, Riley & Turvey, 2000; vgl. auch Fraizer & Mitra, 2008a, S. 275).

2.3 Eigene Gleichgewichtsforschung (dynamic suprapostural tasks)

Mulder (2007, S. 174) beschreibt die Erhaltung des Gleichgewichts als „eine Art Basisfertigkeit“, die „die Grundlage für viele ‚richtige‘ Fertigkeiten bildet“ und empfiehlt neben einer „Basismessung“ kognitive, perzeptive und motorische Manipulationen bei der Messung des Standgleichgewichts (multiple tasks). Eine motorische Manipulation wäre z. B. das Balancieren auf einem labilen Turnkreisel, den wir in unseren Untersuchungen verwenden (Lippens, Nagel & Wagner, 1999). Im Unterschied zur gewohnten Gleichgewichts-Kontrolle auf stabiler Unterstüztungsfläche, z. B. unter quasi-statischen Bedingungen auf einer Kraftmessplattform, ist das Halten des dynamischen Systemgleichgewichts auch für geübte Sportler nicht trivial. Das Suchen von Buchstaben in einem Text während des Balancierens auf dem Turnkreisel wäre eine kognitiv-perzeptiv orientierte Aufgabe, die als Versuch verstanden werden kann, einen standardisierten alltäglichen Handlungszusammenhang bei der Messung der Gleichgewichts-Leistung einzubeziehen (Stoffregen et al., 2000, 2007). Zusätzlich zur motorischen Leistung muss daher auch die perzeptiv-kognitive Leistung in der supraposturalen Aufgabe während der Gleichgewichtsmessungen geprüft werden.

Im Folgenden geht es um eine Replikation der Studie von Stoffregen et al. (2000), die allerdings um die dynamische Gleichgewichts-anforderung auf dem Turnkreisel erweitert werden soll. Wir erwarten, dass sich die Gleichgewichts-Leistungen auch von älteren Senior(inn)en unter dem Einfluss wahrnehmungsbezogener supraposturaler Aufgaben verbessern.

Die Untersuchungsergebnisse stammen aus einer Reihe „kleinerer verzahnter Studien“ (Erdmann, 1988), mit denen wir versuchen, das Gleichgewichts-Problem aus unterschiedlichen Perspektiven und in verschiedenen Anwendungsbereichen aufzuhellen (vgl. auch Hossner, 1995, S. 226-228). So evaluieren wir einerseits die Auswirkungen eines speziellen Koordinationstrainings mit Seniorinnen und Senioren in der Hamburger Inline-Skating-Schule (HIS e.V.) und prüfen andererseits die Gleichgewichts-Leistung im Zusammenhang mit supraposturalen Aufgaben (Lippens & Schröder, 2006).

3 „Wenn schon, denn schon!“

In einer ersten Phase der Untersuchung von supraposturalen Aufgaben haben wir uns am Design von Stoffregen et al. (1999) orientiert, in dem die Zielentfernung für die supraposturale Aufgabe variiert wurde (naher vs. weiter Abstand) (Lippens &

Nagel, 2004). In der zweiten Phase verzichteten wir auf den Wechsel in der Zielentfernung, um daraus resultierende Störungen bei der Gleichgewichts-Kontrolle auszuschließen (Lippens & Nagel, 2006). Die vorzustellende Studie ist in diese zweite Phase der Forschungsreihe einzuordnen.

3.1 Teilnehmer(innen)

Die Versuchsteilnehmer(innen) ($N = 8$ (2 männlich, 6 weiblich); Alter: $M = 61.88$ Jahre; $SD = 9.06$) rekrutierten sich aus Seniorinnen und Senioren, die an den Koordinations-Kursen der Hamburger Inline-Skating-Schule (HIS e.V.) teilgenommen haben („Fit & Geschickt!“, Skilanglauf etc.; vgl.auch Lippens & Nagel, 2004). Sie verfügten über ein gewisses Gleichgewichts-Potenzial, das über die Jahre auftrainiert und trotz zunehmenden Alters erhalten werden konnte. Der für die Messung benutzte Turnkreisel ist ihnen sowohl als Übungsgerät aus dem Kursbetrieb als auch als Messgerät aus vorherigen Gleichgewichts-Studien bekannt. Der geringe Stichprobenumfang war durch die Teilnehmer(innen)zahl in dem Kurs dieser Altersgruppe vorgegeben.

3.2 Posturale und supraposturale Aufgabe

Die Gleichgewichts-Aufgabe bestand im bipedalen Balancieren auf dem Turnkreisel. Es wurden vier Durchgänge in permutierter Reihenfolge (lat. Quadrat; für Details vgl. Anhang 1) durchgeführt. In drei Durchgängen stellten wir eine supraposturale Aufgabe, die das Suchen von Buchstaben in einem Textblock beinhaltete (Abb. 1). In einem Durchgang sollte statt der Buchstaben-Suchaufgabe eine Markierung in Augenhöhe an der Wand fixiert werden (vgl. auch Glasauer, Schneider, Jahn, Strupp & Brandt, 2005; Ivanenko, Grusso & Lacquanti, 1999). Zusätzlich überprüften wir die Buchstaben-Suchaufgabe im normalen Stand auf dem Fußboden. Jeder Versuch dauerte 45 Sekunden.

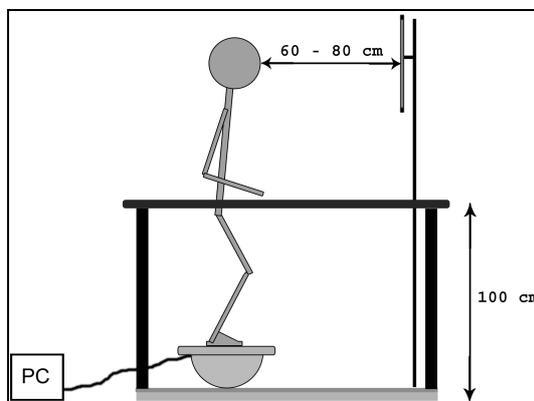


Abb. 1: Versuchsanordnung mit Versuchsteilnehmer auf dem Messkreisel, Geländer und Text-Poster für die Buchstaben-Suchaufgabe

Der Versuchsablauf sah bei Messungen der Gleichgewichts-Leistung entsprechende Probe-Zeiten vor, damit die Teilnehmer(innen) ihre optimale Fußstellung auf dem Messkreisel finden konnten. Dabei wurden der Ablauf der Messung und die jeweilige Aufgabenstellung erklärt. Die Messung begann nach einem Zeichen der Teilnehmer(innen). Mit Beginn der Messzeit wurde der jeweils zu suchende Buchstabe in der Suchaufgabe angesagt.

Nach Ende der Messung nannten die Teilnehmer(innen) die Anzahl der gefundenen Buchstaben und zeigten die Textstelle (Zeile, Wort), bis zu der sie den Text durchsuchen konnten. Nach einer von den Teilnehmer(inne)n selbst bestimmten Pause erfolgte der nächste Versuch. Die Versuche wurden zusätzlich mit Videoaufnahmen dokumentiert, um etwaige Besonderheiten oder Störungen rekonstruieren zu können.

3.3 Instrumentarium: Buchstaben-Suchaufgabe und Gleichgewichts-Messkreisel

Für die Messung der Gleichgewichts-Leistung versuchen wir, mit einer kognitiv-perzeptiv orientierten Buchstaben-Suchaufgabe (vgl. Stoffregen et al., 2000, 2007) einen übergeordneten Handlungszusammenhang herzustellen.

3.3.1 Buchstaben-Suchaufgabe (BSA)

Bei der supraposturalen Aufgabe sollten Buchstaben in einem Text gesucht und gezählt werden. In einem Textblock ($N_{Worte} = 84$; $N_{Buchstaben} = 608$; vgl. Anhang 2) kommen die zu suchenden Buchstaben unterschiedlich häufig vor ($f_E = 102$; $f_N = 48$; $f_H = 25$). Der Text wurde individuell in Augenhöhe auf einem Poster (Din A3-Blatt, Schrift Arial 26 Pkt.) präsentiert. Mit Beginn der Gleichgewichts-Messung gaben wir den Teilnehmer(innen) den jeweils zu suchenden Buchstaben vor.

3.3.2 Messkreisel (MK)

Ein Turn- oder Sportkreisel besteht aus einer Metallhalbkugel, die mit einer kreisförmigen Standfläche aus Holz verschraubt ist. Der für die Messungen ausgerüstete Turnkreisel kann als Fahrzeug verstanden werden (Wagner, Lippens, Nagel, Morlock & Vollmer, 2001, 2003), dessen Bewegungsverhalten anhand der Winkellagen bestimmt wird. Dazu messen wir die Winkelgeschwindigkeiten und -beschleunigungen in den drei Kreiselachsen und berechnen anschließend mit Hilfe eines Integrations-Schemas (Kalman-Filter) die Winkellagen (Wagner & Wieneke, 2003). Die Sensoren sind unterhalb der Standfläche angebracht (Abb. 2) und im Radius der Metallhalbkugel vermessen, um ein exaktes kinematisches Modell des Messkreisels bestimmen zu können (Wagner, 2003). Für die Untersuchung vor allem von älteren Teilnehmer(inne)n haben wir zusätzlich ein umlaufendes Geländer angebracht, das etwa in Hüfthöhe die Möglichkeit bietet, sich sowohl beim Auf- und Absteigen als auch beim Verlust der Balance ein- oder beidhändig abzustützen bzw. festzuhalten.

Die Messdaten werden über eine Analog-Digital-Karte (National Instruments 1200) online in den Rechner überführt und mit Hilfe einer speziell angepassten Software (*Labview DAQ*) abgetastet (100 Hz) und gespeichert. Parallel zum Messvorgang

erfasst eine online-Kennzeichnung diejenigen Zeitbereiche, in denen die Teilnehmer(innen) auf Erleichterungsstrategien wie Abstützen, Festhalten mit den Händen oder Absteigen vom Messkreisel zurückgreifen müssen. Die Gleichgewichtsleistung kann nun einerseits durch die effektive Zeitdauer, die die Teilnehmer(innen) auf dem Turnkreisel frei stehen können, und andererseits durch das Schwankungsverhalten des Kreisels selbst abgebildet werden.

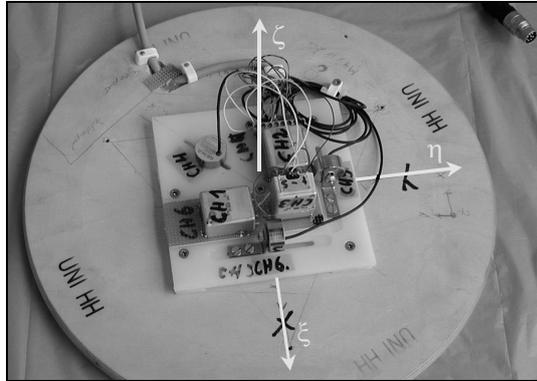


Abb. 2: Anbringung der Sensorik (Winkelgeschwindigkeits- und Winkelbeschleunigungs-Sensoren) unter der Standplatte des Turnkreisels (vgl. Wagner et al., 2001, 2003)

3.4 Datenerhebung

Die Untersuchung fand im April 2007 im Rahmen eines „Fit ab 50!“-Kurses während der Übungszeit (Do 20-21 Uhr) in den Räumen der Universität Hamburg statt. Am ersten Termin wurden die Gleichgewichts-Leistungen mit und ohne supraposturaler Aufgabe sowie die kognitiv-perzeptive Leistung auf dem Messkreisel gemessen. Eine Woche danach wurde die kognitiv-perzeptive Leistung im normalen Stand auf dem Fußboden kontrolliert.

3.5 Auswertung der Daten

Im Vergleich zur Gleichgewichts-Leistung auf dem Messkreisel wurde die kognitiv-perzeptive Leistung in der Buchstaben-Suchaufgabe festgestellt.

3.5.1 Kognitiv-perzeptive Leistung

Als Maß für die Leistung in der Buchstaben-Suchaufgabe (BSA) wurden einerseits die *Genauigkeit des Suchens* (Relative Genauigkeit [%] = $(\text{Anzahl}_{\text{Buchst., tats.}} - (|\text{Anzahl}_{\text{Buchst., tats.}} - \text{Anzahl}_{\text{Buchst., gefunden}}|) / \text{Anzahl}_{\text{Buchst., tats.}}) * 100$) in Anlehnung an die Vorgehensweise in der Arbeitsgruppe um Stoffregen (vgl. Stoffregen et al. 2000, S. 211) und andererseits der *zeitliche Aufwand* für den jeweiligen Suchprozess (Zeit/Buchstaben: $t_{\text{Balance, netto}} / \text{Anzahl}_{\text{Buchst., gefunden}}$) berechnet. Aus diesen beiden

Maßzahlen wurde dann in Anlehnung an Gualtieri & Johnson (2008) ein Quotient, der die Güte des Buchstaben-Suchens (BSA-Q) beschreibt, bestimmt:

$$BSA-Q = (Zeitaufwand/Genauigkeit) * 100. [1]$$

Je schneller und genauer die kognitiv-perzeptive Suchaufgabe ausgeführt wird, um so kleiner fällt der Quotient aus.

Die kognitiv-perzeptive Leistung (BSA-Q) wurde als abhängige Variable in einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung (Suchen E, N, H) auf dem Faktor Bedingung (Suchen auf dem Messkreisel vs. Suchen auf normalem Fußboden) geprüft (Statistica 7.2).

3.5.2 Gleichgewichts-Leistung

Die Güte der Gleichgewichts-Leistung kann mit der effektiven Balancier-Zeit ($t_{Bal., netto}$) auf dem Messkreisel und mit dem Streuungsmaß der Winkellagen des Messkreisels ($RMS_{(\phi, \theta, \psi)}$) bestimmt werden. Als Indikator für die Gleichgewichts-Leistung auf dem Messkreisel (GL-MK) wurde der Quotient aus der effektiven *Balancier-Zeit* und dem *Streuungsmaß* anhand der Winkellagen: $GL-MK = t_{Bal., netto} / RMS_{(\phi, \theta, \psi)}$ (vgl. auch Lippens, Nagel & Wagner, 1999; Lippens & Nagel, 2001) berechnet.

Unterschreiten die Kreiselbewegungen um die Hochachse (ω_{ψ}) eine gewisse Größe, so können aus technischen Gründen diese Daten nicht ausgewertet werden, da sich im Rechenprozess des Kalmann-Filters eine Drift in dieser Datenreihe ergibt (vgl. Wagner, 2003), die anhand der Videodaten als Artefakt interpretiert werden muss. In diesen Fällen muss die Auswertung insgesamt auf die Daten der Winkellagen in anterior-posteriorer (ϕ : roll) und lateraler (θ : pitch) Richtung beschränkt werden. Je länger also die ohne Abstützen, Festhalten etc. verbrachte Zeit auf dem Messkreisel und je geringer die Schwankungen um die zwei Koordinaten der Bewegungsebene (ϕ, θ) des Messkreisels sind, umso größer wird der Quotient, das heißt umso besser fällt die Gleichgewichts-Leistung (GL-MK) auf dem Messkreisel aus (vgl. Lippens & Nagel, 2004):

$$GL-MK = t_{Bal., netto} / RMS_{(\phi, \theta)}. [2]$$

Die Gleichgewichts-Leistung wird als abhängige Variable in einer ANOVA mit Messwiederholung (Statistica 7.2) in zwei Modellen geprüft. Im zeitorientierten Modell wurden etwaige Trainings- oder Ermüdungseffekte aufgrund der zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen (Reihung 1. - 4. Messung) kontrolliert. Im aufgabenorientierten Modell wurde nach dem Einfluss supraposturaler Aufgaben (BSA E, N, H vs. ohne Suchaufgabe) auf die Gleichgewichts-Leistung gefragt. Angesichts der geringen Versuchsteilnehmer(innen)zahl werden auch marginale statistische Effekte ($p < .10$) in einer post-hoc-Analyse betrachtet und zusätzlich relativierte Effektmaße (Cohen's d) bestimmt.

4 Ergebnisse: Kognitiv-perzeptive und Gleichgewichts-Leistung

4.1 Kognitiv-perzeptive Leistung: BSA

Der Zeitaufwand pro gefundenen Buchstaben beträgt im Durchschnitt für das Suchen E 1.02 Sekunden ($SD = 0.22$), N 1.66 Sekunden ($SD = 0.32$) bzw. H 3.11 Sekunden ($SD = 0.81$). Die Genauigkeit des Suchens liegt im Mittel für den Buchstaben E bei 89.19 %, N bei 84.46 % und H bei 70.37 %. Die Güte des Buchstaben-Suchens auf dem Messkreisel bzw. im normalen Stand auf dem Fußboden wurde mit dem Quotienten BSA-Q berechnet, in dem Zeitaufwand zu Genauigkeit ins Verhältnis gesetzt wird.

Eine ANOVA mit Messwiederholung auf den Faktoren Aufgabe (BSA-Q: E, N, H) und Bedingung (Kreisel vs. Fußboden) zeigt einen signifikanten Aufgaben-Haupteffekt ($F(2, 28) = 45.28$; $p < .01$), der 76 % der Gesamtvarianz aufklärt ($\eta^2_{part.} = .76$). Die kognitiv-perzeptive Leistung in der Buchstaben-Suchaufgabe unterscheidet sich unter den Bedingungen auf dem Messkreisel bzw. im normalen Stand auf dem Fußboden nicht ($F(1, 14) = 0.435$; $p = .52$; $\eta^2_{part.} = .03$). Es liegt kein bemerkenswerter Interaktionseffekt vor ($F(2, 28) = 1.25$; $p = .30$). Die Resultate werden in Abbildung 3 veranschaulicht.

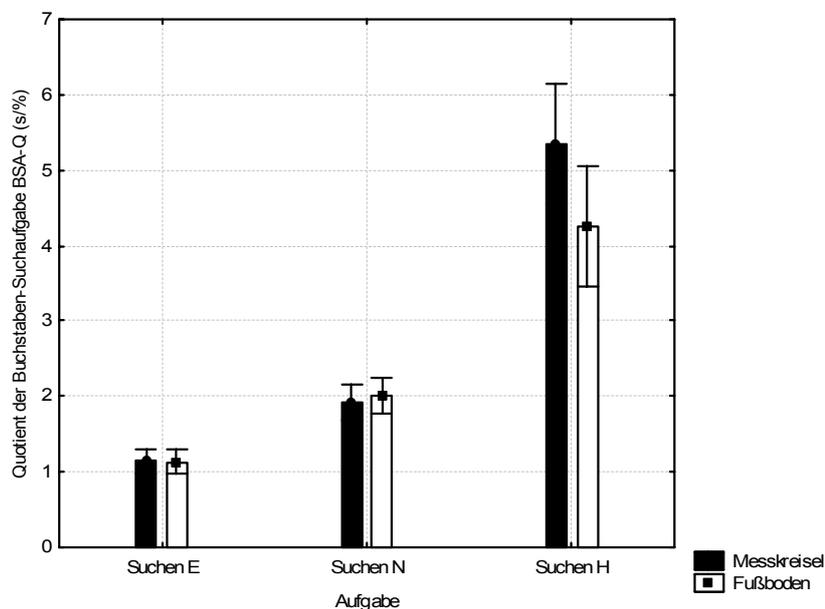


Abb. 3: Kognitiv-perzeptive Leistung auf dem Messkreisel und auf dem normalen Fußboden stehend: Mittelwerte und Standardabweichungen (BSA-Q: (Zeitaufwand/Genauigkeit) * 100)

Die Dekomposition des Messwiederholungs-Faktors Aufgabe (Tukey-HSD Test) führt zu hoch signifikanten Unterschieden zwischen dem BSA-Quotienten für das Suchen des Buchstabens E (1.14 s/%) und das Suchen des Buchstabens N (1.96 s/%; $p = .00$) bzw. H (4.81 s/%; $p = .00$). In Hinblick auf den Bedingungs-Faktor verfehlt selbst eine Überprüfung des tendenziellen Unterschieds in der Buchstaben-Suchaufgabe H Signifikanzgrenzen deutlich ($t = 1.02$; $p = .34$).

4.2 Gleichgewichts-Leistung: Messkreisel

Die Gleichgewichts-Leistungen wurden in zwei Modellen geprüft: Zuerst erfolgte eine Kontrolle von Reihungseffekten (1. Messung – 4. Messung) in einem zeitorientierten Modell unabhängig vom Aufgabentyp, dann eine von Aufgabeneffekten (BSA E, N, H vs. ohne Aufgabe) in einem aufgabenorientierten Modell unabhängig von der zeitlichen Reihenfolge der Aufgaben.

Da die Netto-Balancierzeit im Maß für den zeitlichen Aufwand (Zeit/Buchstaben: $t_{\text{Balance, netto}} / \text{Anzahl}_{\text{Buchst., gefunden}}$) die kognitiv-perzeptive Such-Leistung (BSA-Q) beeinflussen kann (vgl. Gleichung [1]), wurden zuerst die Unterschiede dieses Leistungsmaßes im zeit- und im aufgabenorientierten Modell geprüft. Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigt weder einen Reihungseffekt ($F(3, 21) = 1.079$, $p = .38$; $\eta^2_{\text{part.}} = .13$) noch einen Aufgabeneffekt ($F(3, 21) = .663$, $p = .58$; $\eta^2_{\text{part.}} = .09$).

4.2.1 Zeitorientiertes Modell

In einer ANOVA mit Messwiederholung (zeitliche Reihenfolge: 1. – 4. Messung) für die Gleichgewichts-Leistungen auf dem Messkreisel (GL-MK) ergibt keinen Reihungseffekt für die Messwiederholung ($F(3,21) = 1.02$; $p = .40$; $\eta^2_{\text{part.}} = .13$). Die Resultate werden in Abbildung 4 veranschaulicht. Die größere Streuung in der 4. Messung ($SD = 8.79 \text{ s}^\circ$) im Unterschied zu denen der übrigen Messungen ($SD = 1. \text{ Messung: } 2.40 \text{ s}^\circ$; $2. \text{ Messung: } 4.10 \text{ s}^\circ$; $3. \text{ Messung: } 3.78 \text{ s}^\circ$) lässt sich auf nicht-einheitliche, individuell unterschiedliche Verläufe zurückführen: Fünf Teilnehmer(innen) verbesserten ihre Gleichgewichts-Leistung in der 4. Messung. Von den drei Teilnehmer(inne)n, deren Gleichgewichts-Leistung sich verschlechterte, führten zwei in der 4. Messung keine supraposturale Aufgabe durch. Es ist weder ein Lerneffekt noch ein Ermüdungseinfluss in der zeitlichen Reihenfolge feststellbar (Abb. 4).

4.2.2 Aufgabenorientiertes Modell

Eine ANOVA mit Messwiederholung (Aufgaben: Suchen E, N bzw. H; ohne Aufgabe) für die Gleichgewichts-Leistungen auf dem Messkreisel zeigt einen marginalen Aufgabeneffekt für die Messwiederholung ($F(3, 21) = 3.049$, $p < .051$), der aber noch 30 % der Gesamtvarianz aufklärt ($\eta^2_{\text{part.}}$). Die Ergebnisse werden in Abbildung 5 veranschaulicht. Eine post-hoc-Analyse des Messwiederholungs-Faktors (LSD-Test) führt zu signifikanten Unterschieden zwischen den Mittelwerten der Gleichgewichts-Leistung ohne supraposturale Aufgabe ($M = 10.06 \text{ s}^\circ$; $SD = 3.75$) und der Gleichgewichts-Leistung mit der Suchaufgabe E ($M = 15.21 \text{ s}^\circ$; $SD = 6.64$; $p = .03$), der Suchaufgabe N ($M = 16.30 \text{ s}^\circ$; $SD = 3.66$; $p = .01$) und der Suchaufgabe H ($M = 15.13 \text{ s}^\circ$; $SD = 5.18$; $p = .04$) (Abb. 5).

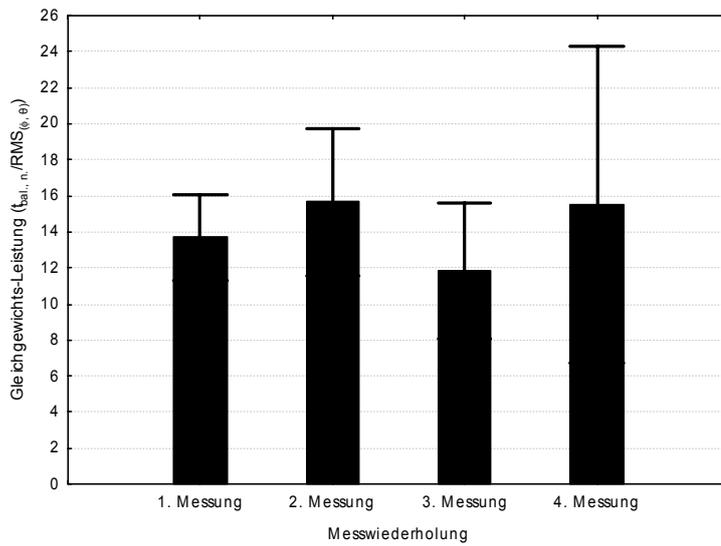


Abb. 4: Ergebnisse der Gleichgewichts-Leistungen (GL-MK: $t_{\text{Bal., netto}} / \text{RMS}_{(\phi, \theta)}$) nach zeitlicher Abfolge der Versuche sortiert (HIS-Sen II: $N = 8$): Mittelwerte und Standardabweichungen in den Versuchen (1. – 4. Messung)

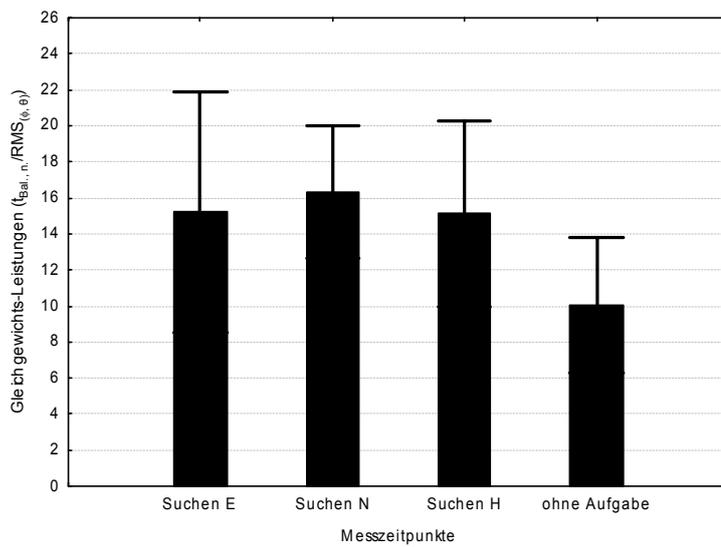


Abb. 5: Ergebnisse der Gleichgewichts-Leistungen (GL-MK= $t_{\text{Bal., netto}} / \text{RMS}_{(\phi, \theta)}$) nach Aufgaben sortiert (HIS-Sen II: $N = 8$): Mittelwerte und Standardabweichungen in den Versuchen mit supraposturalen Aufgaben (Suchen: E, N bzw. H) und ohne Aufgabe

Eine Berechnung der relativierten Effektmaße nach Cohen in gepaarten Stichproben zeigt deutliche Unterschiede in den Messungen mit supraposturaler Aufgabe im Vergleich mit der Messung ohne Aufgabe (Tab. 1).

Tab. 1: Relativierte Effektmaße (Cohen's d) der Gleichgewichts-Leistungen (HIS-Sen II: $N = 8$) mit und ohne supraposturale Aufgaben

Cohen's d	Suchen E	Suchen N	Suchen H	ohne Aufgabe
Suchen E				
Suchen N	-0.20			
Suchen H	0.01	0.26		
ohne Aufgabe	0.96	1.69	1.12	

Fasst man die drei Messwertreihen mit den supraposturalen Aufgaben im Mittelwert ($M = 15.55$ s⁰; $SD = 3.88$) zusammen, dann ergibt auch ein t-Test signifikante Unterschiede zur Messwertreihe ohne supraposturale Aufgabe ($t = 2.84$; $p = .03$). Die Gleichgewichts-Leistung fällt in den Messungen ohne supraposturale Aufgabe ($M = 10.06$ s⁰; $SD = 3.75$) deutlich niedriger aus.

5 Diskussion: *Alles im Lot!*

Die Gleichgewichts-Leistung von trainierten Senior(inn)en auf dem Messkreisel verbessert sich, wenn eine supraposturale Aufgabe gelöst werden soll. Die zusätzliche Buchstaben-Suchaufgabe hat keinen negativen Einfluss auf das Balancieren. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den Voraussagen des Ressourcen-Konzeptes, die in der Regel bei Experimenten mit Doppelaufgaben (kognitive und motorische Aufgabe) eine Verschlechterung der Gleichgewichts-Leistung prognostizieren (u.a. Dumas et al., 2008; Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Unser Ergebnis bestätigt dagegen die Annahme einer funktionalen Integration der Gleichgewichts-Leistung in den übergeordneten Handlungszusammenhang im Sinne von Stoffregen et al. (1999, 2000, 2007). Wenn der übergeordnete Handlungszusammenhang auf Wahrnehmungs-Leistungen in der Umwelt angewiesen ist, kann eine stabilisierende Gleichgewichts-Leistung diese Aufgaben erleichtern (Stoffregen et al., 2007; Smart et al., 2004). Wurden die bisherigen Studien vorwiegend mit jüngeren Erwachsenen (z. B. Sportstudierenden) durchgeführt, so können wir jetzt auch entsprechende Ergebnisse für Senior(inn)en vorlegen (vgl. auch Lippens & Nagel, 2004, 2006).

Im Unterschied zu den bisherigen Studien über supraposturale Aufgaben bei Gleichgewichts-Messungen (z. B. Prado, Stoffregen & Duarte, 2007: Kinetik: CoP; Stoffregen et al., 2000: Kinematik: Kopf) lassen sich unsere Ergebnisse der kognitiv-perzeptiven Leistungen beim Buchstaben-Suchen unter den Bedingungen des

Stehens auf dem labilen Messkreisel und dem stabilen Fußboden vergleichen. Die Leistung in der Buchstaben-Suchaufgabe verschlechtert sich beim Balancieren auf dem anspruchsvolleren Messkreisel im Unterschied zum normalen Stand lediglich beim Buchstaben H geringfügig. Dagegen scheint das Suchen der verschiedenen Buchstaben (E, N, H) unabhängig von den Bedingungen des Stehens unterschiedlich schwer zu sein. Einerseits verringert sich die Genauigkeit von E zu H, andererseits nimmt die benötigte Zeit pro gefundenen Buchstaben von E zu H zu. Dies könnte unter Umständen mit der ungleichen Häufigkeit im benutzten Textblock zusammenhängen ($f_E = 102$; $f_N = 48$; $f_H = 25$).

Diese Befunde zur Genauigkeit in der Buchstaben-Suchaufgabe fallen im Vergleich mit den Ergebnissen von Stoffregen et al. (2000) und Prado et al. (2007) nicht einheitlich aus. In beiden Arbeiten werden Durchschnittswerte für die Genauigkeit des Buchstaben-Suchens angegeben, die sich in der Verteilung der gemachten Fehler bei den verschiedenen Buchstaben nicht unterscheiden: Stoffregen et al.: A, R, N, S ($f = 47-78$) 90.1 %; Prado et al.: A, E, O, N, S, R ($f = 44-97$) 91.1 bzw. 87.5 %. Da beide Autorengruppen keine weiteren Angaben zum benutzten Text machen, lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse in unserer Studie (E: 89.19 %; N: 84.46 %; H: 70.37 %) nicht ausführlicher vergleichen.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass sich bei der kognitiv-perzeptiven Suchaufgabe auf dem Messkreisel im Vergleich zum normalen Stand keine – oder bestenfalls tendenzielle – Verschlechterungen zeigen (vgl. Abb. 3), sich aber die Gleichgewichts-Leistungen auf dem Messkreisel durch die supraposturalen Aufgaben insgesamt signifikant verbessern (vgl. Abb. 5). Diese Ergebnisse können im Sinne einer funktionalen Integration der Gleichgewichts-Leistung auch von älteren Senior(inn)en in den übergeordneten Handlungszusammenhang interpretiert werden. Sie bestätigen unsere bisherigen Befunde aus Untersuchungen mit Sportstudierenden und Schulkindern (Lippens, 2005; Lippens & Schröder, 2006).

Wenn also Gleichgewichts-Leistungen angemessen beurteilt werden sollen, dann müssen sie im funktionalen Zusammenhang der jeweiligen übergeordneten Handlungsziele untersucht werden. Das Lösen supraposturaler Aufgaben auf dem Messkreisel ist als entsprechende Passung zwischen den Auf- und Anforderungen (*affordances*) der Umgebungs- und Aufgabenbedingungen sowie den individuellen Bewegungsmöglichkeiten des Individuums (vgl. Davids, Button & Benett, 2008; Newell 1996) zu verstehen. Dabei kann die Gleichgewichts-Leistung im übergeordneten Handlungszusammenhang zumindest bei wahrnehmungsorientierten Aufgaben besser mit dem Konzept der funktionalen Integration (Stoffregen et al., 2007) als mit dem Konzept der zentralen Ressourcen erklärt werden (Woollacott & Shumway-Cook, 2002). Es kann also keine Gleichgewichts-Kontrolle an sich geben, sondern nur geschicktes, funktional integriertes Bewegen in der jeweiligen Handlungssituation, wenn *Alles im Lot* ist!

Danksagung

Wir danken Claudia Voelcker-Rehage für geduldige Beratung bei der statistischen Auswertung.

Literatur

- Balasubramaniam, R., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2000). Specificity of postural sway to the demands of a precision task. *Gait and Posture*, *11*, 12-24.
- Bertenthal, B. I., & Bai, D. L. (1989). Infants' sensitivity to optical flow for controlling posture. *Developmental Psychology*, *25*, 936-945.
- Bloem, B. R., Valkenburg, V. V., Slabbekoorn, M., & van Dijk, J. G. (2001). The Multiple Tasks Test. Strategies in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, *137*, 478-486.
- Bootsma, R. J. (1998). Ecological movement principles and how much information matters. In A. A. Post, J. P. Pijpers, P., Bosch, & M. S. J. Boschker (Eds.), *Models in Human Movement Sciences: Proceedings of the second international symposium of the institute for fundamental and clinical human movement science* (pp. 51-63). Enschede: Print Partners Ipskamp.
- Davids, K., Button, Ch., & Benett, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition. A Constraints-Led Approach*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Doumas, M., Smolders, C., & Krampe, R. T. (2008). Task prioritization in aging: effects of sensory information on concurrent posture and memory performance. *Experimental Brain Research*, *187*, 275-281.
- Ehrenfried, T., Guerraz, M., Thilo, K. V., Yardley, L., & Gresty, M. A. (2003). Posture and mental task performance when viewing a moving visual field. *Cognitive Brain Research*, *17*, 140-153.
- Erdmann, R. (1988). Die Bedeutung empirischer Studien im sozialwissenschaftlichen Bereich. *Sportwissenschaft*, *18*, 270-283.
- Fearing, F. S. (1924). Factors influencing static equilibrium. An experimental study of the effect of controlled and uncontrolled attention upon sway. *The Journal of Comparative Psychology*, *5* (1), 1-24.
- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008a). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait & Posture*, *27*, 271-279.
- Fraizer, E. V., & Mitra, S. (2008b). Postural costs of performing cognitive tasks in non-coincident reference frames. *Experimental Brain Research*, *185*, 429-441.
- Glasauer, S., Schneider, E., Jahn, K., Strupp, M., & Brandt, T. (2005). How the eyes move the body. *Neurology*, *65*, 1291-1293.
- Gualtieri, C. T., & Johnson, L. G. (2008). A Computerized Test Battery Sensitive to Mild and Severe Brain Injury. *Medscape Journal of Medicine*, *10* (4), 90. Zugriff am 25.07.2008 unter <http://www.medscape.com/viewarticle/571285>.
- Holden, M., Ventura, J., & Lackner, J. R. (1987). Influence of light touch from the hand on postural sway. *Society for Neuroscience Abstracts*, *13*, 292-296.
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, *55*, 1369-1381.
- Hossner, E.-J. (1995). *Module der Motorik*. Schorndorf: Hofmann.
- Hsu, W.-L., Scholz, J. P., Schöner, G., Jeka, J. J., & Kiemel, T. (2007). Control and Estimation of Posture During Quiet Stance Depends on Multijoint Coordination. *Journal of Neurophysiology*, *97*, 3024-3035.
- Ivanenko, Y. P., Grusso, R., & Lacquanti, F. (1999). Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans. *Journal of Physiology*, *519*, 301-314.

- Krampe, R. T., Rapp, M. A., Bondar, A. & Baltes, P. B. (2003). Selektion, Optimierung und Kompensation in Doppelaufgaben. *Nervenarzt*, 74, 211–218.
- Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15, 529-532.
- Lee D. N., & Lishmann, J. R. (1975). Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*, 1, 87-95.
- Lippens, V. (2005). Reading Can Facilitate Balancing on the Gyro. In N. Benguigui, P. Fontayne, M. Desbordes, & B. Bardy (Eds.), *Recherches Actuelles en Science du Sport. Actes du 11th Congrès International de l'ACAPS* (pp. 489-490). Monts: EDP Sciences.
- Lippens, V. & Nagel, V. (2001). Ausbalanciertes Bewegen statt ‚Still-Stand‘! In R. Seiler, D. Birrer, J. Schmid & S. Valkanover (Hrsg.), *Sportpsychologie – Anforderungen – Anwendungen – Auswirkungen* (S. 140-142). Köln: bps.
- Lippens, V. & Nagel, V. (2004). Alles im Lot: Management von zentralen Ressourcen oder funktionale Integration? In O. Stoll & A. Lau (Hrsg.), *Abstractband zur 36. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Sportpsychologie. Belastung und Beanspruchung* (S. 97-98). Halle.
- Lippens, V. & Nagel, V. (2006). Zur Messproblematik der Koordinations-Leistung bei älteren Senioren. In K. Witte, J. Edelmann-Nusser, A. Sabo & E. F. Moritz (Hrsg.), *Sporttechnologie zwischen Theorie und Praxis IV* (S. 267-275). Aachen: Shaker.
- Lippens, V. & Schröder, J. (2006). Wenn schon, denn schon! Zentrale Ressourcen oder funktionale Integration von supraposturalen Aufgaben beim Balancieren? In A. Kibele (Hrsg.), *Unbewusste Handlungssteuerung im Sport* (S. 177-188). Schorndorf: Hofmann.
- Lippens, V., Nagel, V. & Wagner, J. (1999). Geschickte Koordinations-Leistung in bewegten Situationen. In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (S. 221-225). Hamburg: Czwalina.
- Lishman, J. R., & Lee, D. N. (1973). The autonomy of visual kinaesthesia. *Perception*, 2, 287-294.
- Maurer, C., Mergner, T., & Peterka, R. J. (2006). Multisensory control of human upright stance. *Experimental Brain Research*, 171, 231-250.
- Mergner, T. (2007). Modeling sensorimotor control of human upright stance. In P. Cisek, T. Drew, & I. F. Kalaska (Eds.), *Progress in Brain Research* (pp. 283-297). North-Holland: Elsevier.
- Mergner, T., Maurer, C., & Peterka, R. J. (2003). A multisensory posture control model of human upright stance. *Progress in Brain Research*, 142, 189-2001.
- Mitra, S., & Fraizer, E. V. (2004). Effects of explicit sway-minimization on postural-suprapostural dual-task performance. *Human Movement Science*, 23, 1-20.
- Mulder, T. (2007). *Das adaptive Gehirn. Über Bewegung, Bewusstsein und Verhalten*. Bern: Thieme.
- Nashner, L. M. (1977). Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. *Experimental Brain Research*, 30, 13-24.
- Nashner, L. M. (1992). Adaptations of Human Movement to Altered Environments. *Trends in Neurosciences*, 5, 357-361.
- Nashner, L. M., & McCollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *The Behavioral and Brain Sciences*, 8, 135-172.
- Newell, K. M. (1996). Change in movement and skill: learning, retention, and transfer. In M. L. Latash, & M. T. Turvey (Eds.), *Dexterity and its development* (pp. 393-429). Mahwah, NJ: Laurence Erlbaum.

- Prado, J. M., Stoffregen, & T. A., Duarte, M. (2007). Postural Sway during Dual Tasks in Young and Elderly Adults. *Gerontology*, *53*, 274-281.
- Riccio, G. E. (1993). Information in movement variability about the qualitative dynamics of posture and orientation. In K. M. Newell, & D. M. Corcos (Eds.), *Variability and motor control* (pp. 317 – 357). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Riccio, G. E., & Stoffregen, T. A. (1988). Affordances as constraints on the control of stance. *Human Movement Science*, *7*, 265-300.
- Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J., & Turvey, M. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science*, *18*, 795-817.
- Shaw, R. E., Flascher, O. M., & Kadar, E. (1995). Dimensionless Invariants for Intentional Systems: Measuring the Fit of Vehicular Activities to Environmental Layout. In J. M. Flach, P. A. Hancock, J. K. Caird, & K. J. Vicente (Eds.), *An ecological approach to human-machine systems I: Global perspectives* (pp. 293-357). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Smart, L. J., Mobley, B. S., Otten, E. W., Smith, D. L., & Amin, M. R. (2004). Not just standing there: The use of postural coordination to aid visual tasks. *Human Movement Science*, *22*, 769-780.
- Stoffregen, T. A. (2004). Breadth and Limits of the Affordance Concept. *Ecological Psychology*, *16*, 79-85.
- Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G., & Pagulayan, R. J. (1999). Postural Stabilization of Looking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 1641-1658.
- Stoffregen, T. A., Pagulayan, R. J., Bardy, B. G., & Hettinger, L. J. (2000). Modulating postural control to facilitate visual performance. *Human Movement Science*, *19*, 203-220.
- Stoffregen, T. A., Hove, P., Bardy, B. G., Riley, M., & Bonnet, C. T. (2007). Postural stabilization of perceptual but not cognitive performance. *Journal of Motor Behavior*, *39*, 126-138.
- Trousil, T., & Dvir, Z. (1983). Dynamic Balance: A Learning Strategy. *Human Movement Science*, *2*, 211-218.
- van Emmerik, R. E. (2007). Functional Role of Variability in Movement Coordination and Disability. In W. E. Davis, & G. D. Broadhead (Eds.), *Ecological Task Analysis and Movement* (pp. 25-52). Champaign, IL: Human Kinetics.
- van Emmerik, R.E.A., & van Wegen, E.E.H. (2000). On Variability and Stability in Human Movement. *Journal of Applied Biomechanics*, *16*, 394-406.
- van Emmerik, R. E. A., & van Wegen, E. E. H. (2002). On the Functional Aspects of Variability in Postural Control. *Exercise and Sport Sciences Review*, *30*, 177-183.
- Wagner, J. (2003). *Zur Verallgemeinerung integrierter Navigationssysteme auf räumlich verteilte Sensoren und flexible Fahrzeugstrukturen*. Düsseldorf: VDI.
- Wagner, J., Lippens, V., Nagel, V., Morlock, M., & Vollmer, M. (2001). *Generalising Integrated Navigation Systems: The Example of the Attitude Reference System for an Ankle Exercise Board*. *Proceedings of the "Symposium Gyro Technology 2001"* (pp. 18.0-18.16). Stuttgart: Universität Stuttgart und DGfOuN.
- Wagner, J., Lippens, V., Nagel, V., Morlock, M., & Vollmer, M. (2003). An Instrument Quantifying Human Balance Skills: Attitude Reference System for an Ankle Exercise Board. *International Journal of Computer Science in Sport, Special Edition 1*, 96-105. Zugriff am 08.03.2003 unter http://www.iacss.org/ijcss/ijcss_special1.html.
- Wagner, J., & Wieneke, T. (2003). Integrating Satellite and Inertial Navigation – Conventional and New Fusion Approaches. *Control Engineering Practice*, *11*, 543-550.

Woollacott, M. H. & Jensen, J. L. (1994). Haltung und Fortbewegung. In H. Heuer & S. W. Keele (Hrsg.), *Psychomotorik* (S. 413-508). Hogrefe: Göttingen.

Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait and Posture*, 16, 1-14.

Anhang

Anhang 1: Ablaufplan der Messungen HIS-Sen II „Fit ab 50!“ (N= 8)

Vp	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
1	Suchen E	Suchen N	Suchen H	ohne Aufgabe
2	Suchen N	Suchen H	ohne Aufgabe	Suchen E
3	Suchen H	ohne Aufgabe	Suchen E	Suchen N
4	ohne Aufgabe	Suchen E	Suchen N	Suchen H
5	Suchen E	Suchen N	Suchen H	ohne Aufgabe
6	Suchen N	Suchen H	ohne Aufgabe	Suchen E
7	Suchen H	ohne Aufgabe	Suchen E	Suchen N
8	Suchen H	Suchen N	ohne Aufgabe	Suchen E

Anhang 2: Wortlaut des Textblocks für die Buchstaben-Suchaufgabe (BSA)

Im Sinne der Mechanik zielt der hier gebrauchte Begriff einer Koordinations-Leistung auf die Minimierung aller Teilbewegungen von Sportler und Sportgerät ab, die von einer als optimal angenommenen Hauptbewegung überlagert sind und auch bei hohem Leistungsniveau nie ganz verschwinden. (Letztere ist beispielsweise bei Sportfahrzeugen wie Ruderboot oder Fahrrad eine möglichst gleichmäßige Geradeausfahrt; beim Turnkreisel stellt sie den Sonderfall der Ruhelage mit idealerweise waagerechter Standfläche dar.) Aufgabe einer messtechnischen Erfassung einer Gleichgewichts-Leistung ist es deshalb, diese zusätzlichen Bewegungsanteile aufzuzeichnen, um sie einer Auswertung zugänglich zu machen.