

Gleichgewichtsleistungen im Handlungsbezug

Entwurf einer Forschungsmethodik zur Bestimmung der Gleichgewichtsleistung

Geschickte Gleichgewichtsleistungen beim Bewegen in Sport und Alltag werden auch im Motoriklabor nicht zum Selbstzweck erbracht, sondern sind immer in den aktuellen Handlungsbezug eingebunden. Sie sind weder das Ziel bewusster, zielgerichteter Handlungen noch das Ergebnis *ungewussten*, quasiautomatisierten Verhaltens (Groeben & Scheele, 1993, S. 141–145; vgl. Lippens, 2002, S. 167)¹. Auch eine Standwaage, z. B. auf dem Schwebebalken in einem olympischen Wettkampf oder als isolierte Gymnastikübung im täglichen Fitnessprogramm, wird aus einer handlungstheoretischen Sichtweise nur sinnvoll sein, wenn der jeweilige Bedeutungszusammenhang mitgedacht wird. Derartige Bewegungsorganisationen lassen sich angemessener als *Affordanzextraktion* konzeptionieren (Riccio & Stoffregen, 1988; vgl. auch Nitsch & Munzert, 1997, S. 50–172) und unterliegen im jeweiligen Koordinationsmodus den spezifischen Zwängen von Person-, Aufgaben- und Umgebungsbedingungen (Newell, 1984, 1996; Newell & Jordan, 2007; vgl. auch Nitsch, 1985; Hossner, 1995, S. 230). Innerhalb der funktionalen Bedingungen spielt die Regulation des *dynamischen Systemgleichgewichts* (vgl. auch

Trousil & Dvir, 1983; Smart & Smith, 2004, S. 342) in gerätegebundenen Sportarten wie Roll-, Eis- und Schnee- oder Wassersport, aber auch in situativen Sportarten wie Ballsportarten oder im bewegten Alltag eine besondere Rolle (vgl. Jendrusch & Brach, 2003, S. 184–189).

1 Grundannahmen eines modernen Konzepts der Gleichgewichtsleistung

Derartige Bewegungsauf- und -anforderungen² hat Nitsch (2004, S. 15 f.) auf der Ebene der Handlung als *situativen Prozess* beschrieben und den Bewertungsaspekt der „jeweiligen Konstellationen von Person-, Umwelt- und Aufgabenfaktoren“ als *Handlungskompetenz* bezeichnet (ebd., S. 16). Unter Verweis auf Olivier (1997) verstehen wir Gleichgewichtsleistungen nicht als Ausdruck einer koordinativen Fähigkeit (vgl. auch Bachman, 1961; Singer, 1968; Hasenberg, 1997; Büsch et al., 2003; Yaggie & Campbell, 2006; Olivier et al., 2008, S. 168–170; Lippens et al., 2008;

Mersmann et al., 2009; Voelcker-Rehage & Lippens, 2009). Stattdessen bevorzugen wir das Konzept einer *Strategie-Adaptation* (Mechling, 2003; vgl. Mulder, 2005, S. 172–174). Dabei verfolgen wir weniger einen informationsverarbeitenden Ansatz wie Ackerman (1992) sowie Schunn und Reder (2001), die sich u. E. zu sehr auf eher kognitiv orientierte Experimente zur simulierten Luftverkehrskontrolle beschränken. Gut gelernte motorische Adaptationen sind als funktionale Teilsysteme in eine (aufgaben)spezifische Informations-Bewegungs-Kopplung integriert (Bootsma, 1998; vgl. auch Mitra, 2004, S. 28 f.). So kann die Gleichgewichtskontrolle das Lösen von wahrnehmungsabhängigen, übergeordneten Aufgaben in der aktuellen Handlungssituation erleichtern (vgl. Stoffregen et al., 2000, 2007; Smart & Smith, 2001, S. 341 f.). Die Überlegungen von Riccio und Stoffregen (1988) unter einem systemdynamischen Ansatz zu den Grenzen eines Bewegungsmöglichkeitsraumes bei unterschiedlichen Intentionen erscheinen für unseren Gegenstandsbereich angemessener (vgl. auch Mitra & Fraizer, 2004, S. 5). Die Arbeitsgruppe konnte damit spezielle Toleranz- und Grenzregionen von synergetischen Fußgelenks- und Hüftgelenksstrategien je nach übergeordneten Handlungszielen aufzeigen (z. B. Vogel in der Luft beobachten bzw. über den Zaun gucken). Dies trifft sich mit den eher methodisch orientierten Überlegungen von Nagel (1997, S. 50–58) zu *vermaschten* Rekon-

¹ Die von Groeben und Scheele 1992 vorgeschlagene Strukturierung der Bewusstseinsstufen in motorischen Lernprozessen halten wir gerade für diese – in der sportwissenschaftlichen Umgangssprache oft als *automatisch* bezeichneten – Kontrollprozesse für hilfreich (vgl. Lippens, 1997, S. 62–64).

² Mit dieser Umschreibung wollen wir der Komplexität des Konzeptes „affordances“ gerecht werden: „The affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes, either for good or ill“ (Gibson, 1979, S. 127). Die in der Literatur übliche Übersetzung von „affordance“ mit Handlungsangebot (z. B. Zimmer, 1991) soll hier angesichts der neueren „constraint-led“-Konzepte (Davids et al., 2008) modifiziert werden. Anforderungen sind die einschränkenden und Aufforderungen sind die erweiternden Angebote zum Bewegen.

struktionen von *Wahrnehmungs-, Interaktions-, Denk-, Gefühls- und Bewegungsmustern* im Situations-Intentions-Kontext beim Bewegen in Sport und Alltag (vgl. auch Maki & MacIlroy, 2007, S. 1279: „central set“). Geschickte Gleichgewichtsleistungen als Indikator für angemessene Bewegungskompetenz verweisen dann auf Passungen zwischen mehr intern orientierten (Person-Umgebung; Person-Aufgabe) und mehr extern orientierten (Aufgabe-Umgebung) Bedingungsfaktoren des Bewegens. Derartige Überlegungen sind unter Bezug auf Newell (1984, 1996) auch in neueren Arbeiten zur ökologischen Analyse von Aufgaben und Bewegungen (vgl. Burton & Davis, 1996; Davis & Broadhead, 2007) oder zur Dynamik des Fertigkeitserwerbs zu finden (vgl. Araújo et al., 2004; Davids et al., 2005, 2008).

Aufgabe einer Vermittlung, die sich um eine motorische *Schlagfertigkeit* im Handlungsbezug bemüht (Nagel, 1997, S. 6; Hirtz, 2007, S. 212; vgl. Handford et al., 1997), wäre dann das dialogische Provozieren von bedeutsamen Gleichgewichtserlebnissen im lernrelevanten, fehlerfreundlichen Grenzbereich der Stabilität (vgl. Adolph et al., 2000; Riach & Starkes, 1993; McCollum & Leen, 1989). Dazu gehen wir von einem aktiven, produktiv Realität verarbeitenden Subjekt im Sinne von Hurrelmann aus (1983, 2006; vgl. auch Lippens, 1992, S. 5–10). Dessen erlangte Bewegungskompetenz manifestiert sich auch in der Gleichgewichtsleistung. Das nachsinnende Aufarbeiten dieser Erlebnisse zu Erfahrungen (Nagel & Wulkop, 1992, S. 61; vgl. auch Lippens, 2002) sollte sich im entsprechenden Bewegungsfühl³ beim gelungenen Bewegen, *wenn alles im Lot ist*, in der subjektiven Eigensicht niederschlagen (z. B. Schnee-, Gleit-, Kantengefühl oder Wasser- und Bootsgefühle; vgl. Roth, 1996; Lippens, 1995, 2004, 2009). Das manifeste Bewegungsverhalten des *realitätserzeugenden Subjektes* (vgl. auch Beer, 2002, 2007, S. 93 ff.) kann nur aus einer Fremdsicht gemessen wer-

³ Unter *Bewegungsfühl* soll hier keine koordinative (Supra-)Fähigkeit, sondern ein übergeordnetes Konzept in der Eigensicht von Sportlern verstanden werden, das aus den Inhalten ihrer subjektiven Theorien, *wenn alles stimmt*, abgeleitet werden kann (Lippens, 1995, 2009).

den. Dazu sind ökologische Versuchsanordnungen notwendig, die die Vielfalt des jeweiligen Alltags- und Handlungsbezugs angemessen berücksichtigen sollten (vgl. Geurts et al., 1991, S. 10 „multi-various nature of daily life performance“; de Vreede et al., 2005, 2006; Taube et al., 2008a).

2 Traditionelle Untersuchungen der Gleichgewichtskontrolle

Die Bedeutung einer gekonnten Gleichgewichtsleistung für das motorische Lernen und die motorische Kontrolle ist unbestritten. Ayres (1984) vermutet sogar, dass die *Schwerkraftsicherheit* in der Kindesentwicklung mehr Bedeutung als die Mutter-Kind-Beziehung hat: „Die Schwerkraftsicherheit ist das Fundament, auf welchem wir unsere zwischenmenschlichen Beziehungen aufbauen“ (S. 108). So bewirkt die Gleichgewichtsregulation keine posturale Kontrolle als Selbstzweck (vgl. Stoffregen et al., 2007, S. 135). Sie ist immer in entsprechenden Handlungsmustern für das spezifische Bewältigen von Situationen eingebunden und interagiert mit übergeordneten Aufgaben (vgl. Geurts et al., 1991). Auch innerhalb des Paradigmas einer traditionellen Gleichgewichtsfor-schung (s. unten: „quietstance“) wäre das Sich-Nicht-Bewegen demnach schon ein übergeordnetes Ziel.

Im Unterschied zum Ressourcenkonzept (Woollacott & Shumway-Cook, 2002; vgl. auch Mitra & Fraizer, 2004, S. 17) müssen Zusatzaufgaben nach dieser Sichtweise die Gleichgewichtsleistung nicht zwangsläufig negativ beeinflussen, sondern können sie sogar positiv anregen (u. a. *visuell*: Stoffregen et al., 1999, 2000; *akustisch*: Deviterne et al., 2005; *taktil*: Riley et al., 1999; *präzise*: Balasubramaniam et al., 2000; vgl. auch Oullier et al., 2004, S. 176 f.). So lassen sich zu Recht Bedenken am Quiet-stance-Paradigma vorbringen, in dem die untersuchten Versuchspersonen während der Messung möglichst wenig schwanken sollen (vgl. Fearing, 1925; Riley et al., 1999; Stoffregen et al., 2007, S. 135). Wir gehen davon aus, dass die Gleichgewichtsleistung nicht autonom produziert, sondern als Teil eines spezifischen Bewegungs-Wahrnehmung-Systems aktuell modifiziert werden kann (vgl. auch Mitra, 2004, S. 28 f.). Unter die-

sem Gesichtspunkt wollen wir in der Literatur vorherrschende Forschungsansätze (Abschn. 2.1 „moving room“; 2.2 „moving platform“; 2.3 „multi-tasking“; 2.4 „multijoint“ resp. „-link“) vorstellen und anschließend darauf aufbauend eine eigene Forschungsstrategie entwickeln (Kap. 3 Ökologische Untersuchung der Gleichgewichtsleistung).

2.1 Ruhiger Stand im bewegten Raum?

Lee hat in den siebziger Jahren mit seinen Untersuchungen eines sich bewegendes Raums („swinging“ resp. „moving room“) den dominierenden Einfluss der visuellen Informationen auf die Gleichgewichtsleistung im ruhigen Stand nachgewiesen (Lishman & Lee, 1973; Lee & Aronson, 1974; Lee & Lishman, 1975; vgl. auch Bertenthal & Bai, 1989; Schöner, 1991). Versetzt man die Wände und Decke eines Raums in bewusst nicht wahrnehmbare Schwingungen, dann synchronisieren die Personen ihre Körperschwankungen mit der visuellen Umhüllung („swinging room“). Kinder (ab 9–14 Monaten). Auch Erwachsene werden in ihrer Wahrnehmung empfindlich gestört, wenn die visuellen Informationen einen gewissen Schwellenwert überschreiten (vgl. auch Paulus et al., 1989). Vor allem Veränderungen in der Peripherie (Wände und Decke) interpretieren die Versuchsteilnehmer leicht als Eigenbewegung („moving room“), wie z. B. beim Stolpern, und beantworten sie mit einer gegenläufigen Ausgleichsbewegung, die zum erhöhten Schwanken bzw. zum Fallen führen kann. Die Abweichung von der vertikalen Körperachse des ruhigen Stands wird als Fehler bewertet, der den Einfluss der visuellen Information auf die Gleichgewichtsleistung eindrucksvoll demonstriert.

Das in diesem Ansatz vorherrschende Prinzip des ruhigen Stands („quiet stance“) kritisieren u. a. Ehrenfried et al. (2003) und interpretieren die Befunde unter dem Konzept der Raum- und Bewegungsdiskrepanz neu („space and motion discomfort“; vgl. auch Gatev et al., 1999, S. 926; van Emmerik & van Wegen, 2000; Schieppati et al., 2002; van Emmerik, 2007). Die Arbeitsgruppe bewertet das Schwanken nicht als Fehler, son-

dern als exploratives Verhalten (vgl. auch Krishnamoorthy et al., 2005; Oullier et al., 2006, S. 35), das den aktuellen Zustand z. B. der Unterstütsungsfläche prüfen soll (vgl. Fraizer & Mitra, 2008a, S. 439: „performatory“ resp. „exploratory elements of sway“). Stimmen visuelle und vestibuläre bzw. somatosensorische Informationen⁴ nicht überein, wenn sich die Wände bewegen, kann erhöhte Bewegung um die Vertikale helfen, die Relevanz der jeweiligen Informationen innerhalb einer transmodalen oder multisensorischen Integration zu evaluieren (vgl. Ivanenko et al., 1999; Blümle et al., 2006; Meredith, 2002; Clark & Riley, 2007). So konnten schon Larish und Andersen (1995) nachweisen, dass aktive Bewegung bei der räumlichen Orientierung vorteilhaft ist (vgl. Clark et al., 1989).

Die Arbeitsgruppe um Mergner (ders. et al., 1997, 2003; Maurer et al., 2001, 2006) postuliert mit Hilfe ihrer Simulationen und Modellrechnungen anhand eines einfachen inversen Pendels (vgl. Hsu et al., 2007, S. 3034) eine rückgekoppelte, doppelte Koordinationstransformation, die es ermöglicht, den Anteil der eigenen Bewegungen herauszufiltern. In einem abwärtsgerichteten Prozess wird anhand der vestibulären Informationen die Stellung des Kopfes im Raum, der propriozeptiven Informationen die Stellung des Kopfes zum Rumpf sowie die Stellung des Rumpfes zu den Extremitäten und letztlich der taktilen Informationen die Stellung der Füße zur Unterstütsungsfläche verrechnet und ein entsprechendes Referenzsystem aufgebaut („kinematic downchanneling: body in space“). Umgekehrt erfolgt in einem aufwärtsgerichteten Prozess anhand der exterozeptiven und propriozeptiven Informationen über die Bodenreaktionskräfte die Berechnung der Körperbewegungen auf der Unterstütsungsfläche („kinetic upchanneling: body on support“). Mittels dieser Transformationen können „der kinematische Zustand der visuellen Szene“ geprüft (vgl. auch Blümle, 2003, S. 4f.) und die geeignete posturale Kontrollstrategie ausge-

wählt werden (Maurer et al., 2006). Die visuomotorische Perzeption im Sinne von Lee (vgl. Lee & Lishman, 1975) und die klassische vestibuläre Gravizeption nach Mittelstädt (1998) müssen um eine somatosensorische Gravizeption (Maurer et al., 2000, 2001, 2006) erweitert werden. Mit dem Konzept der Koordinatentransformation lassen sich auch unterschiedliche Befunde zur Gleichgewichtsmessung mit Berührungsaufgaben, die aufgrund der geringen Kräfte keine zusätzliche mechanische Unterstütsung ermöglichen können, umfassender neu interpretieren („light touch“: z. B. Holden et al., 1987; Jeka et al., 1997; Riley et al., 1999; Kiemel et al., 2002; Oie et al., 2002; Nagano et al., 2006): Die aufwärtsgerichteten Prozesse der Informationen aus den Fußsohlen können mit taktilen Informationen aufgrund einer zusätzlichen Kontaktaufnahme mit der Umgebung, z. B. aus den Fingerspitzen, sinnvoll erweitert werden (vgl. Jeka, 1998; Hsu et al., 2007, S. 3034; Schieppati et al., 2002, S. 209). Dabei spielen die verschiedenen Angriffspunkte (Kopf, Rumpf, Extremitäten) für die taktilen Informationen eine besondere Rolle (Jeka, 1997; Slijper & Latash, 2000; Nagano et al., 2006). Krishnamoorthy et al. (2002, S. 72) erklären die unterschiedliche Wirksamkeit zusätzlicher taktiler Information an den unterschiedlichen Körperpunkten mit direktem (Kopf, Nacken) vs. indirektem (Finger) Bezug zur vertikalen Körperachse: Der sensorische Referenzpunkt der Fingerspitzen muss mit der Stellung der Hand im Verhältnis zum Rumpf abgeglichen werden (ebenda, S. 77).

Das „moving-room“-Paradigma erfährt in neueren Untersuchungen mit vom Computer generierten visuellen Displays eine Renaissance, um den spezifischen Einfluss der unterschiedlichen Anteile an den sensorischen Informationen experimentell zu bestimmen. Auf der Grundlage von Kalman-Filtern entwickeln u. a. Jeka, Oie und Kiemel (2008) adaptive Neugewichtungsmodelle („reweighting“) der multisensorischen Informationen, um internale und externale Störungen funktional kompensieren zu können (vgl. auch Allison et al., 2006; Carver et al., 2005, 2006). Die Modelle haben auf der Ebene der posturalen Kontrolle eine

starke Affinität zum Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung von Hoffmann (1993; vgl. Kuo, 2005, S. S237: „direct feedback vs. indirect forward resp. Estimation“). Die unterschiedlichen posturalen Rückmeldungen werden grundsätzlich in einem Vorwärts- und einem inversen Modell verarbeitet (vgl. Hossner & Künzler, 2003).

2.2 Externe Störungen auf einer bewegbaren Kraftmessplattform

In den achtziger Jahren unternahm Nashner in seiner Arbeitsgruppe mit dem Konzept der bewegten Plattform („moving platform“) eine systematische experimentelle Untersuchung der posturalen Reaktionen auf unterschiedliche Bedingungen. Die Versuchsanordnung wurde gerätetechnisch zu einer computergestützten dynamischen Posturographie (SMART Balance Master; * NeuroCom) weiterentwickelt. Sie erlaubt dann mit dem sensorischen Organisationstest (SOT; Shumway-Cook und Horak, 1986) die Anteile der jeweils an der Gleichgewichtsleistung beteiligten Sinnesinformationen (extero- und interozeptiv) isoliert und in ihrer Interaktion sowie in ihrer Funktion für die posturale Kontrolle zu überprüfen (MCT: „motor control test“ bzw. ADT: „adaptation test“). Zusammen mit Horak konnte Nashner auf der beweglichen Kraftmessplatte (KMP) unterschiedliche Muskelsynergien als Antwort auf externe Störungen nachweisen (Horak & Nashner, 1986). Dazu wurde einerseits die Unterstütsungsfläche translatorisch bzw. rotatorisch für die Versuchspersonen unvorhersehbar bewegt, andererseits die begleitenden sensorischen Informationen durch die sich mitbewegende visuelle Einhüllung manipuliert. Anhand von Aufzeichnungen der Muskelpotenziale ließen sich so in EMG-Studien unterschiedliche Aktivitätsmuster nachweisen, die die Autoren aufgrund der zeitlichen Verhältnisse weder als einfache posturale Reflexe (>50–60 ms) noch als komplexe bewusste Korrekturen (<200 ms) interpretieren konnten. In der Folge werden sie als posturale (reaktive) Synergien bzw. Strategien bezeichnet (vgl. Turvey & Carello, 1996).

Bei kleinen Störungen bzw. ausreichend großen Unterstütsungsflächen zeigen sich

⁴ Wie diese unterschiedlichen sensorischen Informationen systematisch experimentell im Labor untersucht werden können, zeigen Riemann et al. (2003, S. 93–94).

Fußgelenksynergien, bei kleineren Unterstützungsflächen bzw. größeren Störungen Hüftgelenksynergien (vgl. Park et al., 2004). Zu Beginn der Anpassungsprozesse an die externen Störungen auf der bewegten Plattform konnten Horak und Nashner (1986) auch susensorische Synergien im Kniegelenk nachweisen (vgl. Nijhuis et al., 2007; Alexandrov et al., 2005). Überschreiten die Störungen einen Schwellenwert, der das Halten des Körperschwerpunkts über der aktuellen Unterstützungsfläche („limits of stability“) unmöglich macht, lassen sich komplexere Strategien wie Schrittsynergien (Nashner, 1993; Maki & McIlroy, 1999; Horak & Kuo, 2000) beobachten. Diese gehen letztlich in Abstützsynergien mit der Hand über, um die Unterstützungs- bzw. Abstützfläche angemessen zu vergrößern (Maki & McIlroy, 2007). Barela, Jeka und Clark (1999) haben eindrucksvoll nachgewiesen, dass schon Kleinkinder diese Information beim Einüben des aufrechten beidbeinigen Stands nutzen und im Laufe des Entwicklungsprozesses von einer Strategie der mechanischen Unterstützung zu der einer erweiterten sensorischen Integration in ihrem internen posturalen Modell wechseln (vgl. auch Metcalfe & Clark, 2000).

Nashner und McCollum (1985) konstruieren aus den Bewegungsmöglichkeiten im Fuß-, Hüft- und Kniegelenk einen dreidimensionalen Möglichkeitsraum, der die potenziellen Kombinationen der Synergien beschreibt. Riccio und Stoffregen (1988) erweitern diese Modellierung um die Dimension der individuellen Intention von Handlungszielen (z. B. Vogel in der Luft beobachten bzw. über den Zaun gucken) und konnten damit spezielle Toleranz- und Grenzregionen der Gleichgewichtsleistung aufzeigen. Das Konzept der Synergien wurde in der Folge von Bardy für experimentelle Studien in seiner Arbeitsgruppe aufgenommen, um unterschiedliche Koordinationsmodi als emergente Phänomene bei der Gleichgewichtskontrolle unter sich ändernden Umgebungsbedingungen nachzuweisen (2004; vgl. Bardy et al., 1999, 2002, 2007).

In neueren Arbeiten wird das Konzept der Gleichgewichtssynergien auch auf ruhiges Stehen ohne Störungen erweitert (vgl. Gatev et al., 1999; Creath et al., 2005).

Sportwiss 2009 · 39:318–329 DOI 10.1007/s12662-009-0076-5
© Springer Medizin Verlag 2009

Volker Lippens · Volker Nagel

Gleichgewichtsleistungen im Handlungsbezug. Entwurf einer Forschungsmethodik zur Bestimmung der Gleichgewichtsleistung

Zusammenfassung

Dynamische Gleichgewichtsleistungen sind weder das Ziel bewusster Handlungen noch das Ergebnis ungewussten Verhaltens (vgl. Groeben & Scheele, 1993). Sie lassen sich angemessener als Affordanzextraktion konzipieren und unterliegen im jeweiligen Koordinationsmodus den spezifischen Zwängen von Person-, Aufgaben- und Umgebungsbedingungen (Newell, 1984, 1996; Nitsch, 1995). Eine geschickte Gleichgewichtsleistung wird so nie nur für sich erbracht, sondern ist in den funktionalen Zusammenhang der jeweiligen übergeordneten Ziele eingebunden. Im Unterschied zum Ressourcenkonzept müssen Zusatzaufgaben in dieser Sichtweise die Gleichgewichtsleistung nicht zwangsläufig negativ beeinflussen, sondern können diese sogar positiv anregen (Stoffregen et al., 1999–

2007). So lassen sich zu Recht Bedenken an einem Paradigma vorbringen, in dem die untersuchten Versuchspersonen während der Messung möglichst wenig schwanken sollen. Wir gehen davon aus, dass die posturale Kontrolle nicht autonom, sondern als Teil eines spezifischen Informations-Bewegungs-Systems integriert funktioniert (Bootsma, 1998). Vor diesen theoretischen Annahmen werden einige in der Literatur vorherrschende Forschungsansätze vorgestellt und eine eigene, ökologischere Forschungsstrategie entworfen.

Schlüsselwörter

Gleichgewichtsleistung · Supraposturale Aufgabe · Handlungsbezug · Strategie-Adaptation · Langevin-Modell

Balance performance related to activity. Proposed research method to determine balance performance

Abstract

Dynamic balance performance is neither the objective of conscious actions nor the result of unwitting behavior (cf. Groeben & Scheele, 1993). It is more appropriately conceptualized as an affordance extraction and in each mode of coordination is subject to the specific demands of personal, task-related, and environmental conditions (Newell, 1984, 1996; Nitsch, 1995). Skilled balance performance is thus never achieved for its own sake but is rather integrated in the functional interrelationship of activity goals. Unlike the concept of resources, additional tasks as viewed from this perspective do not necessarily decrease balance performance, but can even serve as positive motivation. Therefore, it is justifiable to raise doubts about a paradigm

where the test subjects are required to sway as little as possible during measurement. We assume that postural control is not autonomous, but rather functional as an integrated part of a specific system of motion information (Bootsma, 1998). With these theoretical assumptions in mind, some of the research approaches that abound in the literature are presented and our own research strategy that is intended to be more ecological is outlined.

Keywords

Balance performance · Suprapostural task · Activity-related · Strategy adaptation · Langevin model

Zudem lassen sich komplexere Kontrollstrategien („multijoint“ bzw. „multilink strategies“) als nur Fußgelenk- bzw. Hüftgelenksynergien beobachten (Schieppati et al., 2002, S. 209; Hsu et al., 2007, S. 3033; Nijhuis et al., 2007; Danna-Dos-Santos et al., 2008; vgl. auch Latash, 2008, S. 170–174). Park et al. (2004) thematisieren heterogene Rückkopplungsschleifen, die visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen enthalten und komplexere Kontrollstrategien aufgrund supraspinaler Anteile ermöglichen (S. 424; vgl. auch Jacobs & Horak, 2007; Lockhart & Ting, 2007). Gatev et al. (1999) untersuchen „feedforward“-Strategien beim ungestörten Stehen und schlagen ein zweistufiges Modell der adaptiven gleichzeitigen posturalen Kontrolle vor (S. 926): Ein kontinuierlicher Prozessor hält Möglichkeiten zur Kompensation von Feedbackprozessen (reaktive Synergien) vor. S-R-Prozessor („stimulus response“) stellt aufgrund von sensorischen Anhaltspunkten und/oder internen motorischen Befehlen vorprogrammierte Antworten (antizipative Synergien: „postural adjustments“) bereit (vgl. Jeka & Kiemel, 2004, S. 123–139; Krishnamoorthy & Latash, 2005).

2.3 Doppel- und Mehrfachaufgaben im komplexen Alltag

Im Rahmen des Doppelaufgabenansatzes wurde in den 1990er Jahren eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt, die das Phänomen der kognitiven Ressourcen bei der Lösung von Gleichgewichtsproblemen thematisierten (vgl. Woollacott & Shumway-Cook, 2002; Barra et al., 2006; Fraizer & Mitra, 2008). Die Autoren gehen davon aus, dass Mehrfachaktivitäten insgesamt um einen begrenzten zentralen Ressourcenpool konkurrieren müssen (Kahneman, 1973; vgl. auch Navon & Gopher, 1979; Wickens, 2005) und daher die jeweiligen Einzelaufgaben nur schlechter gelöst werden können (Norman & Borow, 1975; Glass et al., 2000).⁵ Lundin-Olsson

⁵ Zu fragen bliebe, ob bei dieser Diskussion des Doppelaufgabenparadigmas nicht ein veraltetes Konzept zugrunde liegt, das in der Nachfolge von Allport (1980) eine wesentliche Erweiterung gefunden hat (vgl. z. B. Neumann, 1993; Manzey, 1993; Pellecchia, 2003, 2005).

et al. (1997) demonstrierten das Phänomen in einer einfachen Versuchsanordnung eindrucksvoll, indem sie Patienten auf dem Weg ins Behandlungszimmer in ein Gespräch verwickelten und feststellten, wer beide Aufgaben nicht gleichzeitig lösen konnte („Stops walking when talking!“). Unterbrechungen der Gehfähigkeit interpretieren sie als Indikator für ein erhöhtes Sturzrisiko (vgl. Alexander & Goldberg, 2006, S. 24 f.; de Hoon et al., 2003; Snijders et al., 2007, S. 1318). Die Validität dieses einfachen Screening-Verfahrens wird allerdings in Folgestudien angezweifelt (Bloem et al., 2000; Bootsma-van der Wiel et al., 2003).

Stoffregen stellt das Doppelaufgabenkonzept mit seinen Studien zu übergeordneten Aufgaben („suprapostural tasks“) bei der Gleichgewichtsleistung erstmals 1999 in Frage und zeigt mit seiner Arbeitsgruppe, dass sich nicht alle Zusatzaufgaben störend auf die Gleichgewichtsleistung auswirken müssen (ders. et al., 1999, 2000, 2007; vgl. auch Bloem et al., 2001, 2006). Erfordert der Handlungszusammenhang eine gewisse Gleichgewichtsleistung, um die übergeordnete Aufgabe besser lösen zu können, wird die Gleichgewichtsleistung funktional integriert und kann trotz *Zusatzaufgabe* besser werden. Dies wurde v. a. in den Arbeiten um Stoffregen u. a. für visuelle (Stoffregen et al., 1999, 2000, 2007; Smart et al., 2004), akustische (Maylor et al., 2001; Stoffregen et al., 2006), taktile („motor-perception task“: Holden, Ventura, & Lackner, 1987; Riley et al., 1999) und motorische Präzisionsaufgaben (Balasubramaniam, Riley & Turvey, 2000; vgl. auch Fraizer & Mitra, 2008, S. 275) nachgewiesen. In den ersten Untersuchungen der Auswirkungen von übergeordneten Aufgaben auf die Gleichgewichtsleistung benutzte Stoffregen (1999, 2000) eine Versuchsanordnung, die zwei unterschiedliche Aufgaben (frontal positioniertes, unbeschriebenes Papier betrachten bzw. Buchstaben im Text suchen) in zwei verschiedenen Zielbedingungen (nahe Entfernung: 40 cm bzw. weite Entfernung: 3 m) vorsah. Die Versuchspersonen hatten entweder die Aufgabe, das jeweilige Ziel lediglich zu inspizieren oder verschiedene Buchstaben im Text zu suchen. Die Gleichgewichts-

leistung wurde mit dem Schwankungsmaß verschiedener Körperpunkte (u. a. Kopf) in anterior-posteriorer und lateral-medialer Richtung mittels eines optoelektronischen Bewegungsanalyse-systems („flock of birds“) gemessen. Die unterschiedlichen Aufgaben und Ziele führen zu einer Verbesserung der Gleichgewichtsleistung in lateral-medialer Richtung beim Suchen von Buchstaben im nahen Text. Als funktionale Erklärung führt Stoffregen an, dass die suchende Person v. a. am nah positionierten Text vorbeischnappen würde, wenn sie nicht ruhig stehen könnte: Die verbesserte Gleichgewichtsleistung erleichtert also die supraposturale Aufgabe des Buchstabensuchens! Stoffregen et al. bezeichnen dies als funktionale Integration der Gleichgewichtsleistung in den übergeordneten Handlungszusammenhang (z. B. 2007, S. 127). In einem Folgeexperiment wird das Ziel seitlich orthogonal positioniert, so dass die Versuchspersonen ihren Kopf um 90 Grad drehen müssen, um das Ziel über die Schulter ansehen zu können. In den Daten der Gleichgewichtsleistung verringert sich nun folgerichtig die Bewegung in anterior-posteriorer Richtung. Bei der Untersuchung einer Präzisionsaufgabe von Balasubramaniam et al. (2000) ist das Phänomen der funktionalen Integration der Gleichgewichtsleistung entsprechend zu finden. Sollen die Versuchspersonen auf ein frontal positioniertes Ziel mit einem Laserpointer zeigen, dann verringern sich die Schwankungen in medial-lateraler Richtung. Wird das Ziel orthogonal positioniert, schwanken die Personen weniger in anterior-posteriorer Richtung, um die Zielaufgabe präzise lösen zu können.

In einer neueren Arbeit schlugen Stoffregen et al. (2007) als Konsequenz vor, bei supraposturalen Aufgaben zwischen vorrangig wahrnehmungsbezogenen motorischen und nichtwahrnehmungsbezogenen kognitiven Anforderungen zu unterscheiden. In einer Re-Analyse unterschiedlicher Experimente u. a. zum Doppelaufgabenkonzept konnte die Arbeitsgruppe indifferente Ergebnisse neu interpretieren. Bei wahrnehmungsbezogenen (visuell, auditiv, kinästhetisch, taktile) supraposturalen Aufga-

ben kann eine Verbesserung der Gleichgewichtsleistung beobachtet werden, um den übergeordneten Handlungszusammenhang (Fixier-, Such-, oder Präzisionsaufgabe) zu erleichtern. Bei ausschließlich kognitiven Aufgaben (z. B. Rückwärtszählen in unterschiedlichen Schritten) ist der Handlungszusammenhang nicht in dem Maße auf eine optimierte Gleichgewichtsleistung angewiesen. Geschickte Gleichgewichtsleistungen wären so Teil eines adaptierten Informations-Bewegungs-Systems (Bootsma, 1998), das die Interaktionen zwischen Akteur, Umwelt und Aufgabe im aktuellen Koordinationsmodus widerspiegelt (vgl. Newell, 1984, 1996). Vor diesem Hintergrund müssen viele empirische Befunde, die im Rahmen des Doppelaufgabenparadigmas gefunden wurden und nicht zur Verschlechterung der Gleichgewichtsleistung geführt haben, neu interpretiert werden (vgl. Übersichten bei Barra et al., 2006, S. 734–736; Swan et al., 2007, S. 470; Fraizer & Mitra, 2008, S. 272; Stoffregen et al., 2007, S. 126–127). Sieht man sich die jeweiligen Versuchsbedingungen an, dann lässt sich feststellen, dass die zusätzliche (zweite) Aufgabe im Sinne von Stoffregen einen perzeptiv-motorischen Kontakt mit der Umgebung voraussetzt, indem insbesondere visuelle oder auditive Informationen verarbeitet werden müssen. Diese übergeordneten, aus dem Handlungsbezug abzuleitenden Wahrnehmungsaufgaben gelingen dann besser, wenn das Schwanken minimiert wird (z. B. Stoffregen et al., 2000, 2007; Smart et al., 2004).

Unabhängig von der Frage, welche supraposturalen Aufgaben von der Gleichgewichtsleistung abhängig sind, kritisieren Geurts et al. (1991) und auch Bloem et al. (2001) den geringen Alltagshandlungsbezug des Doppelaufgabenkonzeptes. Sie propagieren dagegen einen Mehrfachaufgabentest (MTT, „multiple task test“) für die Gleichgewichtskontrolle, in dem perzeptiv (reduzierte Lichtverhältnisse), kognitive (Fragen beantworten), motorische (Hindernissen ausweichen) und mechanische (rutschige Schuhe) Manipulationen beim Überprüfen vorgesehen sind (Geurts et al., 1991, S. 10). Damit kann der Bezug zu den normalen Anforderungen im Alltag besser hergestellt wer-

den. In einem Testverfahren für tägliche Aktivitäten (ADAP, „assessment of daily activities performance“) standardisierte Vreede (2006) Aufgaben wie „gefüllte Einkaufstasche eine Busplattform hinauf- und hinuntertragen“, „Treppensteigen“, „Wäsche aus der Waschmaschine in den Trockner umfüllen“, „Staubsaugen“ etc. aus dem Alltag. In derartigen Versuchsanordnungen lässt sich die höhere Wirksamkeit von Interventionsmaßnahmen, die das Üben funktionaler Alltagsaufgaben beinhalten, im Vergleich z. B. mit einem herkömmlichen Krafttraining nachweisen (vgl. de Vreede et al., 2005).

Die Arbeitsgruppe Gollhofer kann in ihren neurophysiologischen Untersuchungen des sensomotorischen Trainings aufgabenspezifische Adaptationen auf der spinalen (H-Reflex) und supraspinalen Ebene (kortikospinale Erregbarkeit) nachweisen (Taube et al., 2007, 2008a, b; Schubert et al., 2008). Die Autoren betonen, dass die Effekte nur bei der Ausführung der trainierten Aufgabe zu beobachten sind (vgl. auch Beck et al., 2007). Sie postulieren daher eine Kongruenz von Interventions- und Messsituationen (Taube et al., 2008a, S. 110). Mit einer geschickten Versuchsanordnung werden diese aufgabenspezifischen Effekte im Vergleich von motorischen und perzeptiven Aufgaben („finger tapping“ bzw. „laser pointing“) auf stabiler (KPM) und instabiler Unterstütsungsfläche (KMP mit Therapiereis) eindrucksvoll belegt (Taube et al., 2008b). Diese Befunde bestätigen auf der neurophysiologischen Ebene die Interaktion von Eigenschaften des Organismus, der Umgebungs- und Aufgabenbedingungen (Newell, 1984, 1996; vgl. auch Nitsch, 1985) und lassen sich auf der psychologischen Ebene gut mit dem Konzept der funktionalen Integration im Sinne von Stoffregen et al. (1999, 2007) erklären.

2.4 Komplexere Koordinationsstrategien („multijoint/multilink coordination“)

In neueren Ansätzen unter der Hypothese der unkontrollierten Vielfalt („uncontrolled manifold“) wird die Stabilität des Körperschwerpunktes bzw. des Kopfes über der Unterstütsungsfläche thematisiert (Scholz & Schöner, 1999; vgl. auch Müller

& Sternard, 2009, S. 450–452). Dazu analysieren die verschiedenen Autoren eine möglichst hohe Anzahl der daran beteiligten Körperglieder, um die zu starke Vereinfachung in einem Modell des inversen Pendels zu vermeiden (vgl. auch Keshner & Allum, 1990). Krishnamoorthy et al. (2005) und Hsu et al. (2007) untersuchen den Einfluss visueller Informationen auf den ungestörten, ruhigen Stand in der sagittalen Ebene. Für die Gleichgewichtsregulation auf verkleinerter bzw. normaler Standfläche können sie eine Kontrollstrategie nachweisen, die zwischen funktionaler, zielgerichteter („goal-equivalent“) und nichtfunktionaler („non-goal-equivalent“) Variabilität in den Gelenkstellungen unterscheidet (vgl. auch Desmurget et al., 1995; Tseng et al., 2003). Unter den Bedingungen fehlender visueller Informationen, wenn die Versuchspersonen ihre Augen schließen, interpretieren sie die Zunahme funktionaler Variabilität als exploratives Schwanken (vgl. Ehrenfried et al., 2003; Haehl et al., 2000; Ko et al., 2003).⁶ So können die fehlenden visuellen Informationen mit erhöhter somatosensorischer Information aufgrund der zusätzlichen Gelenkbewegungen kompensiert werden (vgl. Clark et al., 1989). Hsu et al. (2007) betonen für ihre Kontrollstrategie die grundsätzliche Bedeutung der doppelten Koordinatentransformation von Maurer et al. (2006), obwohl diese nur auf dem einfachen Modell eines inversen Pendels aufbaut (S. 3034). Mit einer UCM-Analyse der 6 Körpergelenke, Fuß-, Knie-, Hüft- sowie 3 Wirbelgelenke (lumbosakral, zervikal und atlanto-okzipital), können Hsu und Mitarbeiter eine Strategie der aufrechten Körperhaltung im ruhigen, ungestörten Stand belegen. Um die räumliche Stabilität von Körperschwerpunkt (CM) und Kopfposition zu gewährleisten, werden alle Gelenkbewegungen kompensatorisch in einer Gesamtsynergie koordiniert. Dabei können einzelne Gelenke entlang der vertikalen Körperachse gleichzeitig relativ hoch variieren, ohne dass sich

⁶ In diesem Zusammenhang sei auch auf die explorative Instanz in Neissers (1976) Wahrnehmungskreislauf verwiesen (Perzepte → modifizieren → Schemata → leiten an → Exploration → sammelt → Perzepte → etc.; vgl. auch Dewey's frühe Kritik (1896) am Konzept des Reflex-Bogens!).

dies negativ auf den Körperschwerpunkt oder die Kopfposition auswirken muss (vgl. Latash, 2008, S. 171: „good vs. bad variables“).

3 Ökologische Untersuchung der Gleichgewichtsleistungen

Mulder beschreibt die Kontrolle des Gleichgewichts als „eine Art Basisfertigkeit“⁷, die „die Grundlage für viele ‚richtige‘ Fertigkeiten bildet“ (2007, S. 174). Er empfiehlt in der Nachfolge von Geurts et al. (1991) und Bloem et al. (2001) neben einer *Basismessung* motorische, perzeptive und kognitive Manipulationen bei der Messung des Standgleichgewichts um „der Funktion des motorischen Systems gerecht (zu) werden“. Diese Vorschläge würden eine systematische Forschungsstrategie *konvergierender Evidenzen*, die Hossner⁸ 1995 vorgeschlagen hat, auf der methodischen Ebene erweitern (S. 226–228; vgl. auch Roth & Hossner, 1999, S. 221). Unter Berücksichtigung der Überlegungen von Stoffregen et al. (2007) ließe sich dann eine ökologischere Untersuchungsanordnung entwerfen, die unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen versucht, die Gleichgewichtsleistung im alltäglichen Handlungsbezug zu thematisieren (Nagel & Lippens, 2009).

3.1 Motorische Manipulationen der Gleichgewichtsleistung

Eine grundsätzliche *motorische* Manipulation wäre z. B. schon das Balancieren auf einem kippeligen Turnkreisel (Pascen, 1980, S. 86–87). Im Unterschied zur gewohnten Gleichgewichtskontrolle auf stabiler Unterstütsungsfläche ohne Störungen, z. B. unter quasi-statischen Bedingungen auf einer Kraftmessplatt-

⁷ Hier soll aus Platzgründen nicht diskutiert werden, ob Mulder nicht eher eine *Basisfähigkeit* meinen könnte. Es sei aber auch auf die Einteilung von Nagel und Wulkop verwiesen, die Gleichgewichts- und Differenzierungsfähigkeit als *zentrale Fähigkeiten* (in der Sportart Hockey) klassifizieren (1992, S. 35).

⁸ Dass Hossner (1995) seine Forschungsperspektive zur Identifizierung von Motorikmodulen am Beispiel der Gleichgewichtsfähigkeit erläutert, sei der damaligen Zeit geschuldet (vgl. auch Neumeier & Mechling, 1994).

form, ist das Halten des dynamischen Systemgleichgewichts auf dem Messkreisel (z. B. Lippens, Nagel & Wagner, 1999; Lippens et al., 2003) auch für geübte Sportler nicht trivial. Das Verrin- gern der Unterstütsungsfläche beim Stehen durch den Wechsel vom normalen parallelen zum Tandemstand entspricht einer speziellen *motorischen* Manipulation (z. B. Dault et al., 2001). Jede Störung, die von einer Rotation bzw. Translation der Kraftmessplatte ausgeht, würde den motorischen Schwierigkeitsgrad des Balancierens erhöhen (z. B. Horak & Nashner, 1986). Eine zusätzliche *motorische* Manipulation beim Balancieren könnte das Standgleichgewicht auch beeinträchtigen, wenn beispielsweise beim monopodalen Stehen die Freiheitsgrade eingeschränkt werden, indem die Arme vor der Brust verschränkt und das freie Balancierbein festgelegt werden (z. B. Lippens et al., 2009). Einfachere Handbewegungen wie das Drücken einer Taste oder das Bewegen des Daumens über die Finger derselben Hand (z. B. Weeks et al., 2003; Marchese et al., 2003) oder komplexere wie das Halten einer Kaffeetasse (z. B. Guardiera, Bock & Allmer, 2002) wären weitere *motorische* Manipulationen, die sich auf das Balancieren auswirken können.

3.2 Kognitive Manipulationen der Gleichgewichtsleistung

Ein Rückwärtszählen im Stehen ist eine ausschließlich *kognitive* Manipulation (z. B. Schäfer et al., 2008). Das Lösen von akustisch oder visuell dargebotenen Kopfrechenaufgaben wäre eine vorwiegend *kognitive* Aufgabe, die allerdings mit *perzeptiven* Anteilen bei der Informationsaufnahme behaftet ist (vgl. z. B. Lippens, 2005). Um konfundierende Effekte der visuellen Fixierung und auch der Artikulation ausschließen zu können (vgl. S. 191), benutzen Riley et al. (2003) eine Kurzzeitgedächtnisaufgabe (S. 194: „short-term or working memory task“).

3.3 Perzeptive Manipulationen der Gleichgewichtsleistung

Das Suchen von Buchstaben in einem Text während des Stehens auf stabilem

Untergrund oder des Balancierens auf dem lagelabilen Turnkreisel muss als eine *perzeptiv-orientierte kognitive* Aufgabe eingeschätzt werden (Stoffregen et al., 2000, 2007). Dies kann als Versuch verstanden werden, einen standardisierten alltäglichen Handlungszusammenhang bei der Messung der Gleichgewichtsleistung einzubeziehen. Zusätzlich zur *motorischen* Leistung sollte dann auch die *perzeptiv-kognitive* Leistung in der supraposturalen Aufgabe während der Gleichgewichtsmessungen geprüft werden (z. B. Lippens & Nagel, 2009).

3.4 Motorische Anforderungen und Buchstabensuchgaben: ein Beispiel

Welchen Einfluss unterschiedliche supraposturale Aufgaben auf die Gleichgewichtsleistungen haben können, soll an einem Beispiel gezeigt werden (Lippens et al., 2009). Die Daten stammen aus einer Studie, die wir 2008 mit Hamburger Sportstudierenden im Rahmen einer Lehrveranstaltung durchgeführt haben. Die Teilnehmer ($n=12$) wurden zu 3 Zeitpunkten (t_{1-3}) in insgesamt 5 quasi-randomisierten Versuchen, mit und ohne supraposturale Aufgaben, auf dem Messkreisel untersucht. Am ersten Messtermin (t_1) haben wir ohne Zusatzaufgabe, am zweiten (t_2) ohne und mit einer motorischen Aufgabe (Arme und Ausgleichsbein festgelegt) und am dritten (t_3) ohne und mit einer visuell-orientierten Zusatzaufgabe (Buchstaben im Text suchen) gemessen. Als abhängige Variable für die monopodale Gleichgewichtsleistung dienten einerseits die traditionelle Standardabweichung (SD), andererseits die Parameter von Drift und Diffusion nach dem stochastischen Ansatz des Langevin-Prozesses (Gottschall et al., 2009a) für die Winkelgeschwindigkeit in beiden Richtungen (ω_x : lateral, ω_y : anterior-posterior). Um beide Ansätze vergleichen zu können, haben wir den Drift ($D^{(1)}(x)=a_0+a_1 \times x$) und den Diffusionskoeffizienten ($D^{(2)}(x)=b_0+b_1 \times x+b_2 \times x^2$) direkt aus den Messdaten mit der Methode der kleinsten Quadrate rekonstruiert (Gottschall et al., 2009a, b). Die Parameter beider Ansätze wurden in Varianzanalysen mit Messwiederholung auf dem

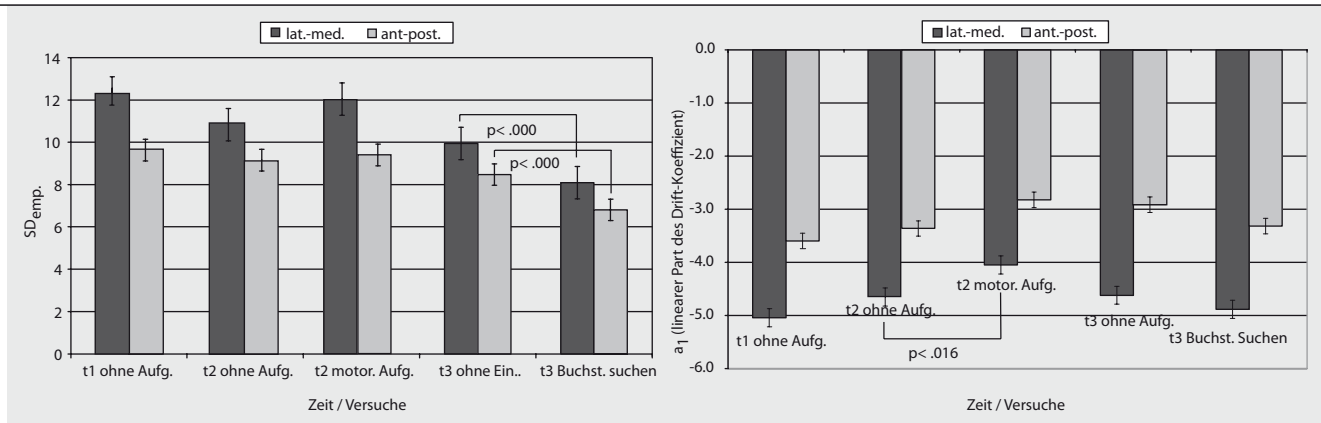


Abb. 1 ▲ Ergebnisse der Varianzanalyse für die Standardabweichung (*links* SD) und den linearen Part des Driftparameters nach dem Langevin-Prozess (*rechts* a_1) in den Winkelgeschwindigkeiten (ω_x, ω_y)

Faktor Bein geprüft (vgl. auch Lippens et al., 2009). Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse einen hochsignifikanten Haupteffekt für die visuell-orientierte, supraposturale Aufgabe des Buchstabensuchens (t_3) in der Standardabweichung der Winkelgeschwindigkeit (■ **Abb. 1**; *links* SD). Die Sportstudierenden schwanken deutlich weniger in beiden Richtungen, wenn sie Buchstaben in einem Text suchen. Dieses Resultat kann zusätzlich mit dem konstanten Teil des Diffusionsparameters ($D^{(2)}$: b_0) belegt werden (vgl. Lippens et al., 2008, 2009). Im Vergleich zur Messung mit der motorischen Aufgabe (t_2) fällt die Gleichgewichtsleistung der Sportstudierenden in dieser Messung (t_3) besser aus.

Diese Ergebnisse bestätigen frühere Studien unter quasistatischen Bedingungen (Stehen auf stabilem Untergrund) aus der Arbeitsgruppe von Stoffregen et al. (u. a. 1999, 2000, 2007) und unter dynamischen Bedingungen (Balancieren auf dem instabilen Messkreisel) aus unserer Arbeitsgruppe (u. a. Lippens, 2005; Lippens & Nagel, 2006, 2008, 2009; Lippens et al., 2006, 2007, 2008, 2009). Die zusätzliche Einschränkung der Freiheitsgrade durch die motorische Aufgaben (t_2) führt zu keiner signifikanten Veränderung der Standardabweichung (SD), aber zu einer Verringerung des deterministischen Anteils in der Winkelgeschwindigkeit der lateralen Richtung (ω_x) nach dem Langevin-Modell (■ **Abb. 1**; *rechts* a_1). Werden die Bewegungsmöglichkeiten der Sportstudierenden reduziert, kann mit dem linearen Part des Driftkoeffizienten ($D^{(1)}$) so eine Veränderung in der Struktur der Gleichgewichtsdaten nachgewiesen wer-

den,⁹ die allein mit der traditionellen Mittelwertstatistik in Form der Standardabweichung nicht zu erkennen wäre (Gottschall et al. 2009 b; vgl. auch Witte, 2002, S. 111–121).

4 Gleichgewichtsleistungen im Handlungsbezug

Vergleicht man nun die unterschiedlichen motorischen, kognitiven und perceptiven Einflüsse auf die Gleichgewichtsleistungen, werden Rückschlüsse auf Affordanzextraktionen in den spezifischen Situationen der posturalen Kontrolle möglich (vgl. Nagel & Lippens, 2009). Die Verbesserung der Gleichgewichtsleistung durch ein transferorientiertes, gleichgewichtsrelevantes Ergänzungstraining, z. B. beim Inlineskaten oder Skilanglaufen, ließe sich durch eine Strategieadaptation im Sinne von Mechling (2003) erklären (vgl. Lippens & Nagel, 2008, S. 374). Offensichtlich können die untersuchten Sportler neu erworbene oder aktualisierte Bewegungsmuster beim einbeinigen Gleiten auf dem Inlineskate oder Langlaufski auf die Bewegungsanforderungen des Turnkreisels übertragen. Auf den üblicherweise benutzten Gleichgewichtsmessplät-

zen werden u. a. die Anpassungsleistungen des posturalen Systems an artifiziale Störungen (z. B. Horak & Nashner, 1986: „moving platform“) gemessen (vgl. auch Maki et al., 1987). Dagegen erfordert die Bauweise des Messkreisels an sich schon eine geschickte Gleichgewichtsleistung als Bewältigung der relativ anspruchsvollen Balanceanforderungen. In Kombination mit einer supraposturalen Aufgabe, z. B. Buchstabensuchen, kann dann so das dynamische Systemgleichgewicht im (vereinfachten) Handlungsbezug als Affordanzextraktion unter den jeweiligen Einflüssen von Person-, Aufgaben- und Umgebungsbedingungen im Sinne von Newell (1984, 1996) untersucht werden. Damit lassen sich Interventionseffekte im Rahmen von Trainingsmaßnahmen angemessener in ökologischeren Versuchsanordnungen überprüfen, bei denen das Ziel einer motorischen *Schlagfertigkeit* als Strategieadaptation im sportlichen Bewegen im Mittelpunkt steht (vgl. Lippens et al., 2009). Der besondere Einfluss der unterschiedlichen Bedingungen auf die Gleichgewichtsleistung kann mit neueren Auswertemethoden zuverlässig nachgewiesen werden, wenn die Analyse, z. B. das stochastische Verfahren des Langevin-Prozesses, in der Lage ist, die Anteile von deterministischer und stochastischer Variabilität in den Gleichgewichtsdaten ausdifferenzieren (vgl. Gottschall et al., 2009a, 2009b; Kutznesov, Riley, Gottschall & Lippens, 2009). So kann in derartigen ökologischen Untersuchungsanordnungen die geschickte Gleichgewichtsleistung als funktionaler Bestandteil einer Informations-Bewegungs-Kopplung (Bootsma, 1998, S. 58) im Alltag erforscht

⁹ Im physikalischen Sprachspiel würde es heißen (vgl. Gottschall et al., 2009a, S. 811): Ein linearer Part des Driftkoeffizienten mit $a_1 = -4,65$ (t_2 : ohne Aufgabe) verursacht im Potenzialmodell eine stärkere Steigung als einer mit $a_1 = -4,05$ (t_2 : mit motorischer Aufgabe); d. h. die Bewegung einer Kugel in diesem Potenzial, die veranschaulichen soll, wie lange es dauert, bis ein stabiler Fixpunkt erreicht wäre, würde unter der Bedingung der motorischen Aufgabe mehr Zeit bis zur Relaxation benötigen.

werden. Die Ergebnisse sollten Rückschlüsse auf das Bewältigen von vielfältigen Koordinationsanforderungen versprechen, wie eine allgemeine Adaptation im bewegten Straßenverkehr (Geurts et al., 1991, S. 10) oder eine spezifische in situativen Sportarten (vgl. Jendrusch & Brach, 2003, S. 184–189).

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Volker Lippens

Fachbereich Bewegungswissenschaft, Fakultät für Erziehungswissenschaft, Psychologie und Bewegungswissenschaft, Universität Hamburg
Mollerstr. 2, 20148 Hamburg
vlippens@uni-hamburg.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Ackerman, P.L. (1992). Predicting Individual Differences in Complex Skill Acquisition: Dynamics of Ability Determinants. *Journal of Applied Psychology*, 77 (5), 598–614.
- Adolph, K.E., Eppler, M.A., Marin, L., Weise, I.B. & Wechsler Clearfield, M. (2000). Exploration in the service of prospective control. *Infant Behavior & Development*, 23, 441–460.
- Alexander, N.B. & Goldberg, A. (2006). Clinical gait and stepping performance measures in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3, 20–28.
- Alexandrov, A.V., Frolov, A.A., Horak, F.B., Carlson-Kuhta, P. & Park, S. (2005). Feedback equilibrium control during human standing. *Biological Cybernetics*, 93, 309–322.
- Allison, L.K., Kiemel, T. & Jeka, J.J. (2006). Multisensory reweighting of vision and touch is intact in healthy and fall-prone older adults. *Experimental Brain Research*, 175, 342–352.
- Allport, D.A. (1980). Attention and performance. In Claxton, G. (Ed.): *Cognitive Psychology – New Direction* (pp. 112–153). London: Routledge & Kegan Paul.
- Araújo, D., Davids, K., Bennett, S.J., Button, C. & Chapman, G. (2004). Emergence of sport skills under constraints. In A. M. Williams & N. Hodges (Eds.), *Skill Acquisition in Sport. Research, Theory and Practice* (pp. 409–433). London: Routledge.
- Ayres, A.J. (1984). *Bausteine der kindlichen Entwicklung: Die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes*. Berlin: Springer.
- Bachman, J.C. (1961). Specificity vs. Generality in Learning and Performing Two Large Muscle Motor Tasks. *The Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 32, 3–11.
- Balasubramaniam, R., Riley, M.A. & Turvey, M.T. (2000). Specificity of postural sway to the demands of a precision task. *Gait & Posture*, 11, 12–24.
- Bardy, B.G. (2004). Postural Coordination Dynamics in Standing Humans. In V.K. Jirsa & J.A.S. Kelso (Eds.), *Coordination Dynamics* (pp. 105–121). Berlin: Springer.
- Bardy, B.G., Marin, L., Stoffregen, T.A. & Bootsma, R. J. (1999). Postural Coordination Modes Considered as Emergent Phenomena. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25 (5), 1284–1301.
- Bardy, B.G., Oullier, O., Bootsma, R.J. & Stoffregen, T.A. (2002). Dynamics of Human Postural Transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28 (3), 499–514.
- Bardy, B.G., Oullier, O., Lagarde, J. & Stoffregen, T.A. (2007). On Perturbation and Pattern Coexistence in Postural Coordination Dynamics. *Journal of Motor Behaviour*, 39 (4), 326.
- Barela, J.A., Jeka, J.J. & Clark, J. (1999). The use of somatosensory information during the acquisition of independent upright stance. *Infant Behavior & Development*, 22 (1), 87–102.
- Barra, J., Bray, A., Sahni, V., Golding, J.F. & Gresty, M.A. (2006). Increasing cognitive load with increasing balance challenge: recipe for catastrophe. *Experimental Brain Research*, 174, 734–745.
- Beck, S., Taube, W., Grube, M., Amtage, F., Gollhofer, A. & Schubert, M. (2007). Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Research*, 1179, 51–60.
- Beer, R. (2002). Vom realitätsverarbeitendem zum realitätserzeugendem Subjekt. Eine philosophische Fundierung der Sozialisierungstheorie. *Zeitschrift für Soziologie der Erziehung und Sozialisation*, 24, 4–16.
- Beer, R. (2007). *Erkenntnistheoretische Sozialisierungstheorie. Kritik der sozialisierten Vernunft*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- 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., Slabbeekorn, M. & Willemssen, M.D. (2001). The Multiple Tasks Test. Development and normal strategies. *Gait & Posture*, 14, 191–202.
- Bloem, B.R., Grimberger, Y.A.M., van Dijk, J.G. & Munneke, M. (2006). The „posture second“ strategy: A review of wrong priorities in Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 248, 196–204.
- Bloem, B.R., Grimbergen, Y.A.M., Cramer, M. & Valkenburg, V.V. (2000). „Stops Walking when Talking“ Does Not Predict Falls in Parkinson's Disease. *Annals of Neurology*, 48, 268.
- Blümle, A. (2003). *Interaktion der visuellen, somatosensorischen und vestibulären Sinnessysteme bei der Gleichgewichtskontrolle*. Dissertation an der Fakultät für Biologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.
- Blümle, A., Maurer, C., Schweigart, G. & Mergner, T. (2006). Cognitive intersensory interaction mechanism in human postural control. *Experimental Brain Research*, 173, 357–363.
- 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.
- Bootsma-van der Wiel, A., Gussekloo, J., de Craen, A.J.M., van Exel, E., Bloem, B.R. & Westendorp, R.G.J. (2003). Walking and Talking as Predictors of Falls in the General Population: The Leiden 85-Plus Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51, 1466–1471.
- Burton, A.W. & Davis, W.E. (1996). Ecological task analysis utilizing intrinsic measures in research and practice. *Human Movement Science*, 15, 285–314.
- Büsch, D., Wilhelm, A. & Schmidt, R. (2003). Kannst du nicht still stehen? Zugriff am 20. Februar 2005 unter www.bewegung-und-training.de.
- Carver, S., Kiemel, T. & Jeka, J.J. (2006). Modeling the dynamics of sensory reweighting. *Biological Cybernetics*, 95, 125–134.
- Clark, F.J., Grigg, P. & Chapin, J.W. (1989). The Contribution of Articular Receptors to Proprioception With the Fingers in Humans. *Journal of Neurophysiology*, 61 (1), 186–193.
- Clark, S. & Riley, M.A. (2007). Multisensory information for postural control: sway-referencing gain shapes center of pressure variability and temporal dynamics. *Experimental Brain Research*, 176, 299–310.
- Creath, R., Kiemel, T., Horak, F., Peterka, R. & Jeka, J. (2005). A unified view of quiet and perturbed stance: simultaneous co-existing excitable modes. *Neuroscience Letters*, 377, 75–80.
- Danna-Dos-Santos, A., Degani, A.M., Zatsiorsky, V.M. & Latash, M.L. (2008). Is Voluntary Control of Natural Postural Sway Possible? *Journal of Motor Behavior*, 40 (3), 179–185.
- Dault, M.C., Geurts, A.C.H., Mulder, T.W. & Duysens, J. (2001). Postural control and cognitive task performance in healthy participants while balancing on different support-surface configurations. *Gait & Posture*, 14, 248–255.
- Davids, K., Bennett, S. & Newell, K. (2005). *Variability in the Movement System: A Multi-Disciplinary Perspective*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Davids, K., Button, C. & Benett, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition. A Constraints-Led Approach*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Davis, W.E. & Broadhead, G.D. (2007). *Ecological Task Analysis and Movement*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- de Hoon, E.W., Allum, J.H., Carpenter, M.G., Sallis, C., Bloem, B.R., Conzelmann, M. & Bischoff, H.A. (2003). Quantitative assessment of the „stops walking while talking test“ in the Elderly. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 838–842.
- de Vreede, P.L. (2006). *Functional tasks exercise improves daily function in older women*. Thesis University Utrecht: Faculteit Geneeskunde.
- de Vreede, P.L., Samson, M.M., van Meeteren, N.L.U., Sijmen, A., Duursma, S.A. & Verhaar, H.J.J. (2005). Functional-Task Exercise Versus Resistance Strength Exercise to Improve Daily Function in Older Women: A Randomized, Controlled Trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53, 2–10.
- de Vreede, P.L., Samson, M.M., van Meeteren, N.L., Duursma, S.A. & Verhaar, H.J. (2006). Reliability and validity of the Assessment of Daily Activity Performance (ADAP) in community-dwelling older women. *Aging Clinical and Experimental Research*, 18 (4), 325–333.
- Desmurget, M., Prablanc, C., Rossetti, Y., Arzi, M., Paulignan, Y., Urquizar, C. & Mignot, J.C. (1995). Postural and synergetic control of three-dimensional movement of reaching and grasping. *Journal of Neurophysiology*, 74, 905–910.
- Deviterne, D., Gauchard, G.C., Jamet, M., Vancon, G. & Perrin, P.P. (2005). Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. *Brain Research Bulletin*, 64, 487–492.
- Dewey, J. (1896). The Reflex Arc Concept in Psychology. *Psychological Review*, 3, 357–370.

46. 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.
47. Fearing, F.S. (1925). Factors influencing static equilibrium. -An experimental study of the effect of controlled and uncontrolled attention upon sway. *Journal of Comparative Psychology*, 5 (1), 1–24.
48. Fraizer, E.V. & Mitra, S. (2008). Postural costs of performing cognitive tasks in non-coincident reference frames. *Experimental Brain Research*, 185, 429–441.
49. Gatev, P., Thomas, S., Kepple, T. & Hallett, M. (1999). Feedforward ankle strategy of balance during quiet stance in adults. *Journal of Physiology*, 514 (3), 915–928.
50. Geurts, A.C.H., Mulder, T.W., Nienhuis, B. & Rijken, R.A.J. (1991). Dual-Task Assessment of Reorganization of Postural Control in Persons with Lower Limb Amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 72, 1059–1064.
51. Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
52. Glass, J.M., Schuhmacher, E.H., Lauber, E.J., Zubriggen, E.L., Gmeindl, L., Kieras, D.E. & Meyer, D.E. (2000). Aging and the Psychological Refractory Period: Task-Coordination Strategies in Young and Old Adults. *Psychology and Aging*, 15, 571–595.
53. Gottschall, J., Peinke, J., Lippens, V. & Nagel, V. (2009a). Exploring the dynamics of balance data -movement variability in terms of drift and diffusion. *Physics Letters A* 373, 811–816. [Zugriff am 20.3.2009 unter: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2008.12.026>].
54. Gottschall, J., Peinke, J., Lippens, V. & Nagel, V. (2009b). Charakterisierung von Gleichgewichtsleistungen in Form von Drift und Diffusion. In V. Nagel & V. Lippens (Hrsg.), *Gleichgewichtsleistungen im Handlungsbezug. Aktuelle Arbeiten zur Gleichgewichtsforschung*. Hamburg: Czwalina.
55. Groeben, N. & Scheele, B. (1993). Bewusstseinsstufen in sportlichen Lernprozessen. In V. Lippens, (Hrsg.), *Forschungsproblem: Subjektive Theorien. Zur Innensicht in Lern- und Optimierungsprozessen* (S. 139–153). Köln: Strauß.
56. Guardiera, P., Bock, O. & Allmer, H. (2002). Sturzprävention bei Älteren -Auswirkungen kognitiver Beanspruchung auf Gehbewegungen bei jüngeren und älteren Menschen. *F.I.T.-Magazin der Deutschen Sporthochschule Köln*, 7, 4–8.
57. Haehl, V., Vardaxis, V. & Ulrich, B. (2000). Learning to cruise: Bernstein's theory applied to skill acquisition during infancy. *Human Movement Science*, 19, 685–715.
58. Handford, C., Davids, K., Bennet, S. & Button, C. (1997). Skill acquisition in sport: Some applications of an evolving practice ecology. *Journal of Sport Sciences*, 15, 621–640.
59. Hasenberg, R. (1997). Differenzierung des motorischen Gleichgewichts. In E. Loosch & M. Tamme (Hrsg.), *Motorik – Struktur und Funktion* (S. 199–203). Hamburg: Czwalina.
60. Hirtz, P. (2007). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik* (11. Aufl., S. 212–242). Aachen: Meyer & Meyer.
61. Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis. Die Funktion von Antizipationen in der menschlicher Verhaltenssteuerung und Wahrnehmung*. Göttingen: Hogrefe.
62. 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.
63. Horak, F.B. & Kuo, A.D. (2000). Postural Adaptation for Altered Environments, Tasks, and Intentions. In J. Winters & P. Crago (Eds.), *Biomechanics and Neural Control of Movement* (pp. 267–281). New York: Springer-Verlag.
64. Horak, F.B. & Nashner, L.M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55, 1369–1381.
65. Hossner, E. (1995). *Module der Motorik*. Schorn-dorf: Hofmann.
66. Hossner, E. & Künzell, S. (2003). Motorisches Lernen. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 131–150). Schorn-dorf: Hofmann.
67. Hsu, W.-L., Scholz, J.P., Schöner, G., Jeka, J.J. & Kiemel, T. (2007). Control and Estimation of Posture During Quiet Stance Depends on Multitijoint Coordination. *Journal of Neurophysiology*, 97, 3024–3035.
68. Hurrelmann, K. (1983). Das Modell des produktiv realitätsverarbeitenden Subjekts in der Sozialforschung. *Zeitschrift für Sozialforschung und Erziehungssoziologie*, 3, 91–103.
69. Hurrelmann, K. (2006). *Einführung in die Sozialisationslehre*. Weinheim: Beltz Verlag.
70. Ivanenko, Y.P., Grasso, R. & Lacquaniti, F. (1999). Effect of gaze on postural responses to neck proprioceptive and vestibular stimulation in humans. *Journal of Physiology*, 519, 301–314.
71. Jacobs, J.V. & Horak, F.B. (2007). Cortical control of postural responses. *Journal of Neural Transmission*, 114, 1339–1348.
72. Jeka, J.J. & Kiemel, T. (2004). Noise associated with the process of fusing multisensory information. In V.K. Jirsa & J.A.S. Kelso (Eds.), *Coordination dynamics: Issues and trends* (pp. 123–140). Berlin: Springer.
73. Jeka, J.J., Oie, K.S. & Kiemel, T. (2008). Asymmetric adaptation with functional advantage in human sensorimotor control. *Experimental Brain Research*, 191, 453–463.
74. Jeka, J.J., Schöner, G., Dijkstra, T., Ribeiro, P. & Lackner, J.R. (1997). Coupling of fingertip somatosensory information to head and body sway. *Experimental Brain Research*, 113, 475–483.
75. Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
76. Keshner, E.A. & Allum, J.H.J. (1990). Muscle activation patterns coordinating postural stability from head to foot. In J. M. Winters & S. L.-Y. (Eds.), *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and Movement Organisation* (pp. 481–497). New York: Springer.
77. Kiemel, T., Oie, K.S. & Jeka, J.J. (2002). Multisensory fusion and the stochastic structure of postural sway. *Biological Cybernetics*, 87, 262–277.
78. Ko, Y., Challis, J.H. & Newell, K. M. (2003). Learning to coordinate redundant degrees of freedom in a dynamic balance task. *Human Movement Science*, 22, 47–66.
79. Kuznetsov, N., Riley, M., Gottschall, J. & Lippens, V. (2009). *Detecting Deterministic Structure in Time Series of RQA and the Langevin Method*. Poster presented on the 3rd Recurrence Plot Meeting in Montreal, Canada.
80. Krishnamoorthy, V. & Latash, M.L. (2005). Reversals of anticipatory postural adjustments during voluntary sway in humans. *Journal of Physiology*, 565, 675–684.
81. Krishnamoorthy, V., Yang, J.-F. & Scholz, J.P. (2005). Joint coordination during quiet stance: effects of vision. *Experimental Brain Research*, 164, 1–17.
82. Krishnamoorthy, V., Slijper, H. & Latash, M.L. (2005). Effects of different types of light touch on postural sway. *Experimental Brain Research*, 147, 71–79.
83. Kuo, A.D. (2005). An optimal state estimation model of sensory integration in human postural balance. *Journal of Neural Engineering*, 2, S235–S249.
84. Kuznetsov, N., Riley, M., Gottschall, J. & Lippens, V. (2009). *Detecting Deterministic Structure in Time Series of Human Balance Performance: A Comparison of RQA and the Langevin Method*. Poster presented on the 3rd Recurrence Plot Meeting in Montreal, Canada.
85. Latash, M.L. (2008). *Synergies*. Oxford, N.Y.: Oxford University Press.
86. Lee, D.N. & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception & Psychophysics*, 15 (3), 529–532.
87. Lee, D.N. & Lishman, J.R. (1975). Visual Proprioceptive Control of Stance. *Journal of Human Movement Studies*, 1, 87–95.
88. Lippens, V. (1992). *Die Innensicht beim motorischen Lernen*. Köln: Strauß.
89. Lippens, V. (1995). „Wenn alles stimmt!“ Zum Konzept des Bewegungsgefühls in motorischen Lernprozessen. In J. R. Nitsch & H. Allmer (Hrsg.), *Emotionen im Sport. Zwischen Körperkultur und Gewalt* (S. 81–87). Köln: bps-Verlag.
90. Lippens, V. (2002). Dialog-hermeneutische Unterstützung von Vermittlungsprozessen. In G. Friedrich (Hrsg.), *Sportpädagogische Forschung. Konzepte – Ergebnisse – Perspektiven* (S. 167–171). Hamburg: Czwalina.
91. Lippens, V. (2004). „Nur Fliegen ist schöner!“ Zum Konzept des Bewegungsgefühls in den subjektiven Theorien von Sportlern. In M. Sukale & S. Treitz (Hrsg.), *Philosophie und Bewegung. Interdisziplinäre Betrachtungen* (S. 225–259). Münster: LIT-Verlag.
92. 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* (pp. 489–490). Actes du 11^e Congrès International de l'ACAPS. Monts:EDP Sciences.
93. Lippens, V. (2009). Ist die ‚Innensicht‘ out? Zur Rekonstruktion der Eigensichten beim Bewegen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 50, 13–33.
94. Lippens, V. & Nagel, V. (2004). Alles im Lot: Management von zentralen Ressourcen oder funktionale Integration? In O. Stoll & A. Lau (Hrsg.), *Belastung und Beanspruchung. Abstractband zur 36. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Sportpsychologie* (S. 97–98). Halle: Universität Halle.
95. 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.
96. Lippens, V. & Nagel, V. (2008). „Ruhig stehen oder geschickt Schwanken?“ Gleichgewichtsleistung von Senioren (2001–2007). In M. Knoll & A. Woll (Hrsg.), *Sport und Gesundheit in der Lebensspanne* (S. 370–374). Hamburg: Czwalina.
97. Lippens, V. & Nagel, V. (2009). Alles im Lot? Begrenzte Ressourcen oder funktionale Integration bei dynamischen Gleichgewichtsleistungen. *Spectrum der Sportwissenschaft*, 21, 1, 21–37.

98. Lippens, V. & Schröder, J. (2006). Wenn schon, denn schon! Zentrale Ressourcen oder funktionale Integration von supra-posturalen Aufgaben beim Balancieren? In A. Kibele (Hrsg.), *Unbewusste Handlungssteuerung im Sport* (S. 177–188). Schorndorf: Hofmann.
99. Lippens, V., Nagel, V. & Adler, H. (2009). Zum Einfluss von visuellen und motorischen Anteilen bei supra-posturalen Aufgaben auf die dynamische Gleichgewichtsleistung von Sportstudierenden. In S. D. Baumgärtner, F. Hänsel & J. Wiemeyer (Hrsg.), *Informations- und Kommunikationstechnologien in der Sportmotorik* (S. 37–39). Darmstadt: TKK.
100. Lippens, V., Nagel, V. & Schröder, J. (2006). Smart balance performance facilitates suprapostural activity. In H. Mechling, M. Bracht, S. Eichberg, & P. Preuss (Eds.), *Xth International Conference Physical Activity and Successful Aging. Book of Abstracts* (p. 140). Köln: DSHS.
101. 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.
102. Lippens, V., Nagel, V. & Wagner, J. (2003). Zur Verbesserung der Gleichgewichtsleistung (auf dem Turnkreisel). In J. Krug & T. Müller (Hrsg.), *Messplätze Messplatztraining Motorisches Lernen. Sport und Wissenschaft, Beihefte zu den Leipziger Sportwissenschaftlichen Beiträgen* (S. 72–77). Bd. 9. St. Augustin: Academia.
103. Lippens, V., Jürgens, P., Peinke, J. & Gottschall, J. (2007). Dynamic balance performance facilitates supra-postural activity. In P. Beek, W. Schöllhorn, & W. Verwey (Eds.), *European Workshop On Movement Science (EWOMS) 2007. Book of Abstracts. Mechanics – Physiology – Psychology* (pp. 161–162). Köln: Sportverlag Strauß.
104. Lippens, V., Nagel, V., Gottschall, J. & Peinke, J. (2008). Performance of balance: General motor ability or specific adaptation of strategies? In A. Hökelmann & K. Brummund (Eds.), *World Congress of Performance Analysis of Sport VIII* (pp. 354–359). Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität.
105. Lippens, V., Nagel, V., Gottschall, J. & Peinke, J. (2009). The balance-measurement disc: Advanced analysis of postural control? In D. Araujo, J. Cabril & J. Barreiros (Eds.), *EWOMS, 09. Abstracts* (p. 71). Cruz Quebrada: Faculdade de Motorcidade Humana – UTL.
106. Lishman, J.R. & Lee, D.N. (1973). The autonomy of visual kinaesthesia. *Perception*, 2, 287–294.
107. Lockhart, D.B. & Ting, L.H. (2007). Optimal sensorimotor transformations for balance. *Nature Neuroscience*, 10, 1329–1336.
108. Lundin-Olsson, L., Nyberg, I. & Gustafson, Y. (1997). „Stops walking when talking“ as a predictor of falls in elderly people. *The Lancet*, 349, 617.
109. Maki, B.E. & McLroy, W.E. (1999). Control of compensatory stepping reactions: age-related impairment and the potential for remedial intervention. *Physiotherapy Theory and Practice*, 15, 69–90.
110. Maki, B.E. & McLroy, W.E. (2007). Cognitive demands and cortical control of human balance-recovery reactions. *Journal of Neural Transmission*, 114, 1279–1296.
111. Maki, B.E., Holliday, P.J. & Fernie, G.R. (1987). A posture control model and balance test for the prediction of relative postural stability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 34, (10), 797–810.
112. Manzey, D. (1993). Doppelaufgabeninterferenz: Neue theoretische und methodische Perspektiven für ein altes Paradigma: In R. Daugs & K. Blischke (Hrsg.), *Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik* (S. 79–96). St. Augustin: Academia Verlag.
113. Marchese, R., Bove, M. & Abbruzzese, G. (2002). Effect of Cognitive and Motor Tasks on Postural Stability in Parkinson's Disease: A Posturographic Study. *Movement Disorders*, 18, 652–658.
114. Maurer, C., Mergner, T., Bolha B. & Hlavacka F. (2000). Vestibular, visual, and somatosensory contributions to human control of upright stance. *Neuroscience Letter*, 281, 99–102.
115. Maurer, C., Mergner, T., Bolha, B. & Hlavacka, F. (2001). Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles. *Neuroscience Letter*, 302, 45–48.
116. Maurer, C., Mergner, T. & Peterka, R.J. (2006). Multisensory control of human upright stance. *Experimental Brain Research*, 171, 231–250.
117. Maylor, E.A., Allison, S. & Wing, A.M. (2001). Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. *British Journal of Psychology*, 92, 319–338.
118. McCollum, G. & Leen, T.K. (1989). Form and exploration of mechanical stability limits in erect stance. *Journal of Motor Behavior*, 21 (3), 225–244.
119. Mechling, H. (2003). Von koordinativen Fähigkeiten zum Strategie-Adaptations-Ansatz. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 347–369). Schorndorf: Hofmann.
120. Meredith, M.A. (2002). On the neuronal basis for multisensory convergence: a brief overview. *Cognitive Brain Research*, 14, 31–40.
121. Mergner, T., Maurer, C. & Peterka, R.J. (2003). A multisensory posture control model of human upright stance. *Progress in Brain Research*, 142, 189–201.
122. Mergner, T., Huber, W. & Becker, W. (1997). Vestibular-Neck Interaction and Transformation of Sensory Coordinates. *Journal of Vestibular Research*, 7 (4), 347–367.
123. Mersmann, F., Schwedler, A. & Saal, C. (2009). Die Fertigkeitsspezifität des Einbeinstandes auf labilem und festem Untergrund. In S.D. Baumgärtner, F. Hänsel & J. Wiemeyer (Hrsg.), *Informations- und Kommunikationstechnologien in der Sportmotorik. Abstractband zur 11. Tagung der dvs-Sektion Sportmotorik* (S. 188–190). Darmstadt: TKK.
124. Metcalfe, J.S. & Clark, J.E. (2000). Sensory information affords exploration of posture in newly walking infants and toddlers. *Infant Behavior & Development*, 23, 391–405.
125. Mitra, S. (2004). Adaptive Utilization of Optical Variables During Postural and Suprapostural Dual-Task Performance: Comment on Stoffregen, Smart, Bardy, and Pagulayan (1999). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30 (1), 28–38.
126. Mitra, S. & Fraizer, E.V. (2004). Effects of explicit sway-minimization on postural-suprapostural dual-task performance. *Human Movement Science*, 23, 1–20.
127. Mittelstädt, H. (1998). Origin and processing of postural information. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22, 473–478.
128. Müller, H. & Sternad, D. (2009). Motor Learning: Changes in the Structure of Variability in a Redundant Task. In D. Sternad (Eds.), *Progress in Motor Control* (pp. 439–456). New York: Springer Science Business Media, LLC.
129. Mulder, T. (2007). *Das adaptive Gehirn. Über Bewegung, Bewusstsein und Verhalten*. Bern: Thieme.
130. Nagano, A., Yoshioka, S., Hay, D.C. & Fukushima, S. (2006). Light Finger Touch on the Upper Legs Reduces Postural Sway During Quasi-Static Standing. *Motor Control*, 10, 348–358.
131. Nagel, V. (1997). *Fit und geschickt durch Seniorensport*. Hamburg: Czwalina.
132. Nagel, V. & Lippens, V. (2009). Gleichgewichtsleistungen im Handlungsbezug. Aktuelle Arbeiten zur Gleichgewichtsforschung. Hamburg: Czwalina.
133. Nagel, V. & Wulkop, M. (1992). *Techniktraining im Hockey*. Ahrensburg: Czwalina.
134. 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.
135. Nashner, L.M. (1993). Practical Biomechanics and Physiology of Balance. In G.P. Jacobson, C.W. Newman & J.M. Kartush (Eds.), *Handbook of Balance Function Testing* (pp. 270–273). Mosby: Singular Publishing Group.
136. Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human-processing system. *Psychological Review*, 86, 214–255.
137. Neisser, U. (1976). *Cognitive Psychology*. Mahwah, N.Y.: Appleton-Century-Crafts.
138. Neumaier, A. & Mechling, H. (1994). Taugt das Konzept „koordinative Fähigkeiten“ als Grundlage für sportartspezifisches Koordinationstraining? In P. Blaser, K. Witte & C. Stucke (Hrsg.), *Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik* (S. 207–212). St. Augustin: Academia.
139. Neumann, O. (1993). Psychologie der Informationsverarbeitung: Aktuelle Tendenzen und einige Konsequenzen für die Aufmerksamkeitsforschung. In R. Daugs & K. Blischke (Hrsg.), *Aufmerksamkeit und Automatisierung in der Sportmotorik* (S. 56–57). St. Augustin: Academia Verlag.
140. Newell, K.M. (1984). Physical Constraints to Development of Motor Skills. In J. R. Thomas (Ed.), *Motor Development during Childhood and Adolescence* (pp. 105–120). Minneapolis: Burgess Publishing.
141. 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: Lawrence Erlbaum Associates.
142. Newell, K.M., & Jordan, K. (2007). Task Constraints and Movement Organization: A Common Language. In W. E. Davis & G. D. Broadhead (Eds.), *Ecological Task Analysis and Movement* (pp. 5–23). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
143. Nijhuis, L.B.O., Bloem, B.R., Carpenter, M.G. & Allum, J.H.J. (2007). Incorporating Voluntary Knee Flexion into Nonanticipatory Balance Corrections. *Journal of Neurophysiology*, 98, 3047–3059.
144. Nitsch, J.R. (1985). The Action-Theoretical Perspective. *International Review for the Sociology of Sport*, 20, 263–282.
145. Nitsch, J.R. (2004). Die handlungstheoretische Perspektive: ein Rahmenkonzept für die sportpsychologische Forschung und Intervention. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 11 (1), 10–23.
146. Nitsch, J.R. & Munzert, J. (1993). Handlungstheoretische Aspekte des Techniktrainings – Ansätze zu einem integrativen Modell. In J.R. Nitsch, A. Neumaier, H. de Marées & J. Mester (Hrsg.), *Techniktraining* (S. 109–172). Schorndorf: Hofmann

147. Norris, J.A., Marsh, A.P., Smith, I.J., Kohut, R.I. & Miller, M.E. (2005). Ability of static and statistical mechanics posturographic measures to distinguish between age and fall risk. *Journal of Biomechanics*, 38, 1263–1272.
148. Norman, D.A. & Bobrow, D.G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44–64.
149. Oie, K.S., Kiemel, T. & Jeka, J.J. (2002). Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cognitive Brain Research*, 14, 164–176.
150. Olivier, N. (1997). Minisymposium „Motorisches Gleichgewicht“ (Einführung). In W. Brehm, P. Kuhn, K. Lutter & W. Wabel (Hrsg.), *Leistung im Sport – Fitness im Leben* (S. 89–93). Hamburg: Czwalina.
151. Ollivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre*. Schorndorf: Hofmann.
152. Oullier, O., Bardy, B.G., Stoffregen, T.A. & Bootsma, R.J. (2004). Task-specific stabilization postural during stance on a beam. *Motor Control*, 7, 174–187.
153. Oullier, O., Marin, L., Bootsma, R.J., Stoffregen, T.A. & Bardy, B.G. (2006). Variability in postural coordination dynamics. In K. Davids, S. Bennett & K. M. Newell (Eds.), *Movement system variability* (pp. 25–47). Champaign: Human Kinetics Publishers.
154. Park, S., Horak, F.B. & Kuo, A.D. (2004). Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. *Experimental Brain Research*, 154, 417–427.
155. Paschen, K. (1980). *Mein Weg zur Sportwissenschaft*. Bamberg: Schadel.
156. Paulus, W., Straube, A., Krafczyk, S. & Brandt, T. (1989). Differential effects of retinal target displacement, changing size and changing disparity in the control of anterior/posterior and lateral body sway. *Experimental Brain Research*, 78, 243–252.
157. Pellicchina, G.L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, 18, 29–34.
158. Pellicchina, G.L. (2005). Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural control. *Journal of Motor Behavior*, 37, 239–246.
159. Riach, C.L. & Starkes, J.L. (1993). Stability limits of quiet standing postural control in children and adults. *Gait & Posture*, 1, 105–111.
160. Riccio, G.E. & Stoffregen, T.A. (1988). Affordances as constraints on the control of stance. *Human Movement Science*, 7, 265–300.
161. Riemann, B., Myers, J. & Lephart, S. (2003). Comparison of the ankle, knee, hip, and trunk corrective action shown during single-leg stance on firm, foam, and multiaxial surfaces. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84 (1), 90–95.
162. Riley, M. A. & Turvey, M. T. (2002). Variability and Determinism in Motor Behavior. *Journal of Motor Behavior*, 34, 99–125.
163. Riley, M.A., Baker, A.B. & Schmit, J.M. (2003). Inverse relation between postural variability and difficulty of a concurrent short-term memory task. *Brain Research Bulletin*, 62, 191–195.
164. 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.
165. Roth, K. (1996). *Techniktraining im Spitzensport. Alltagstheorien erfolgreicher Trainer*. Köln: Strauß.
166. Roth, K. & Hossner, E.-J. (1999). Die funktionalen Betrachtungsweisen. In K. Roth & K. Willimczik (Hrsg.), *Bewegungswissenschaft* (S. 127–226). Reinbek bei Hamburg. Rowohlt.
167. Schaefer, S., Krampe, R.T., Lindenberger, U. & Baltes, P.B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: Body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology*, 44, 747–757.
168. Schieppati, M., Giordano, A. & Nardone, A. (2002). Variability in a dynamic postural task attests ample flexibility in balance control mechanisms. *Experimental Brain Research*, 144, 200–210.
169. Schöner, G. (1991). Dynamic theory of action-perception patterns: the „moving room“ paradigm. *Biological Cybernetics*, 64, 455–462.
170. Scholz, J.P. & Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289–306.
171. Schubert, M., Beck, S., Taube, W., Amtage, F., Faist, M. & Gruber, M. (2007). Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. *European Journal of Neuroscience*, 27, 2007–2018.
172. Schunn, C.D. & Reder, L.N. (2001). Another source of individual differences: Strategy, adaptivity to changing rates of success. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 59–76.
173. Shumway-Cook, A. & Horak, F.B. (1986). Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Physical Therapy*, 66 (10), 1548–1550.
174. Singer, R.N. (1968). Balance Skill as Related to Athletics, Sex, Height, and Weight. In G.S. Kanoy, & T.M. Grogg (Eds.), *Contemporary Psychology of Sport* (pp. 645–656). Chicago: Athletic Institute.
175. Slijper, H. & Latash, M.L. (2000). The effects of instability and additional hand support on anticipatory postural adjustments in leg trunk and arm muscles during standing. *Experimental Brain Research*, 135, 81–93.
176. Smart, L.J. & Smith, D.L. (2001). Postural Dynamics: Clinical and Empirical Implications. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 24, 340–349.
177. 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.
178. Snijders, A.H., Verstappen, C.C., Munneke, M. & Bloem, B.R. (2007). Assessing the interplay between cognition and gait in the clinical setting. *Journal of Neural Transmission*, 114, 1315–1321.
179. Swan, L, Otani, H. & Loubert, P.V. (2007). Reducing postural sway by manipulating the difficulty levels of a cognitive task and a balance task. *Gait & Posture*, 26, 470–474.
180. 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.
181. Stoffregen, T.A., Bardy, B.G., Bonnet, C.T. & Pagulayan, R.J. (2006). Postural Stabilization of Visually Guided Eye Movements. *Ecological Psychology*, 18 (3), 191–222.
182. 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.
183. 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 (6), 1641–1658.
184. Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A. & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiologica*, 193, 1–12.
185. Taube, W., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2008a). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiologica*, 193, 101–116.
186. Taube, W., Leukel, C. & Gollhofer, A. (2008b). Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. *Experimental Brain Research*, 188, 353–361.
187. Troustil, T. & Dvir, Z. (1983). Dynamic balance: a learning strategy. *Human Movement Science*, 2, 211–218.
188. Tseng, Y.-W., Scolz, J.P., Schöner, G. & Hotchkiss, L. (2003). Effect of accuracy constraint on joint coordination during pointing movements. *Experimental Brain Research*, 149, 276–288.
189. Turvey, M.T. & Carello, C. (1996). Dynamics of Bernstein's Level of Synergies. In M.L. Latash & M.T. Turvey (Eds.), *Dexterity and its Development* (pp. 339–376). Philadelphia, PA. Lawrence Erlbaum Associates Inc.
190. van Emmerik, R.E.A. (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, Ill.: Human Kinetics.
191. 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.
192. Voelckner-Rehage, V. & Lippens, V. (2009). Gleichgewichtsleistungen: Evaluierung des Konstruktes mit Hilfe unterschiedlicher Messverfahren bei Senioren. In S.D. Baumgärtner, F. Hänsel & J. Wiemeyer (Hrsg.), *Informations- und Kommunikationstechnologien in der Sportmotorik* (S. 40–42). Darmstadt: TKK.
193. Weeks, D.L., Forget, R., Mouchino, L., Gravel, D. & Bourbonnais, D. (2003). Interaction between Attention Demanding Motor and Cognitive Tasks and Static Postural Stability. *Gerontology*, 49, 225–232.
194. Wickens, C.D. (2005). Multiple Resource Time Sharing Mode. In N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas & H.W. Hendrick (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods* (pp. 40.1–40.7). Boca Raton: CRC Press.
195. Witte, K. (2002). *Stabilitäts- und Variabilitätserscheinungen der Motorik des Sportlers unter nicht-linearem Aspekt*. Aachen: Shaker.
196. Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16, 1–14.
197. Yaggie, J.A. & Campbell, B.M. (2006). Effects of balance training on selected skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (2), 422–428.
198. Zimmer, A.C. (1991). Kognitive Repräsentation und Techniktraining. In R. Daugs, H. Mechling, K. Blischke & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (S. 191–202). Schorndorf: Hofmann.