

Einleitung

Seit Ende der 90-er Jahre untersuchen wir in Kooperation mit der *Hamburger Inline-Skating Schule* das Gleichgewicht in dynamischen Situationen auf dem Sportkreisel (Lippens, Nagel & Wagner, 1999), um Aussagen über die Koordinations-Leistung in Bezug auf die funktionalen Anforderungen beim Bewegen in Sport und Alltag machen zu können. Diese Forschungstätigkeit lässt sich in drei Abschnitte unterteilen, in denen unterschiedliche Schwerpunkte bearbeitet wurden: Entwicklung des Messsystems, Exploration der Erfassungs- und Auswertesystematiken und Ausdifferenzierung eines Forschungsfeldes. Vor diesem Hintergrund führen wir dann in die Thematik der Beiträge in diesem Band ein.

1 Entwicklung des Messsystems

Im Anschluss an eine Reihe von Forschungsarbeiten zur Bio-Mechanik des Ruderns (vgl. Lippens, 1997) entstand in Zusammenarbeit mit Jörg Wagner die Idee, Teile des in diesem Kontext entwickelten Messinstrumentariums (Wagner et al., 1993) in einen Turnkreisel zu implementieren. Der erste Prototyp des Messkreisels, in der lediglich die Winkelgeschwindigkeiten (ω_x , ω_y) erfasst wurden (Lippens et al., 1999; Lippens & Nagel, 2001), konnte mit Unterstützung von Prof. Dr. Michael Morlock und Dipl.-Ing. Mathias Vollmer in der Abteilung Biomechanik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg gebaut werden. Nach einer Probephase, in der wir auf den Einsatz eines zwischengeschalteten Datenloggers angewiesen waren, wurde eine zweite Version des Messkreisels in Kombination mit einer online-Datenerfassung auf einem Laptop (LabView) mit finanzieller Förderung durch die Hamburger Inline-Skating Schule wiederum in der Abteilung Biomechanik der TU Hamburg-Harburg gebaut. Die notwendigen Anpassungen der Software hat Prof. Dr.-Ing. Wagner (jetzt Universität Stuttgart, Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtssysteme) erstellt. Mit diesem erweiterten System konnten wir die Winkelgeschwindigkeiten und -beschleunigungen um die drei Raumachsen messen (Wagner et al., 2001, 2003). Aufgrund der nun vollständig beschreibbaren Bewegung des Kreisels ließ sich so die Gleichgewichts-Leistung beim Balancieren dokumentieren. Um gültige von ungültigen Messbereichen zu unterscheiden, markieren wir während der Messung online diejenigen Zeitabschnitte, in denen sich die untersuchten Teilnehmer auf dem Messkreisel abstützen, festhalten oder vom Kreisel absteigen mussten. In einer dritten Version, die in der Elektronikwerkstatt der Universität Oldenburg gebaut wurde, haben wir schließlich aufgrund der zwischenzeitlich gesammelten Erfahrungen die Beschleunigungssensoren neu dimensioniert und die

technische Konstruktion an die Bedingungen eines mobilen Einsatzes außerhalb des Labors weiter angepasst.

2 Systematische Datenerfassungs- und Auswerteroutinen

Die erfassten Messdaten der Geschwindigkeits- und Beschleunigungssensoren werden als Textdateien abgelegt, um anschließend mittels eines Kalman-Filters die Winkellagen (ϕ , θ , ψ) zu rekonstruieren (Wagner et al., 2001, 2003). Anhand der markierten gültigen Zeitbereiche können wir mit einem Excel-Makro die tatsächliche Balance-Zeit auf dem Messkreisel berechnen und ein Maß für die Gleichgewichts-Leistung bestimmen ($t_{\text{bal., n}}/\text{RMS}_{\phi, \theta, \psi}$). Die erstellten Erfassungs- und Auswerteroutinen sind inzwischen soweit standardisiert, dass sie auch in Untersuchungen außerhalb unserer Arbeitsgruppe eingesetzt werden können (vgl. Böckmann et al., 2007; Bund et al., i. d. B.)

„Versteht man die Bewegungen des Sportkreisels als Spiegelbild oder zentrales Resultat der Bemühungen um ein systembezogenes Gleichgewicht“ (Lippens et al., 1999, S. 223), so sollten die Messdaten in Bezug auf Variabilität nicht nur mit konventionellen, herkömmlichen Auswerteverfahren (SD bzw. RMS) geprüft, sondern auch mit nichtlinearen, dynamischen Berechnungsmethoden untersucht werden, um das Verhältnis von Stabilität und Variabilität zu prüfen (vgl. z. B. Newell, van Emmerik, Lee & Sprague, 1993; Witte, 2003). Informationen über das System, die Auskunft über mögliche interne Störungen der intraindividuellen Koordination oder externe Störungen der spezifischen Interaktionen mit der Umgebung geben können, sind mit linearen Verfahren allein nicht zu erwarten. Mit einer Modellierung der Messkreiselbewegung als Lengevin-Prozess können die deterministischen und stochastischen Anteile in den Messdaten ausdifferenziert und das dynamische Systemverhalten aufgezeigt werden (vgl. Gottschall et al., i. d. B.). Im Unterschied zu einfachen, linearen Messparametern, die lediglich auf eine Abnahme des Rauschens in den gemessenen Zeitreihen hinweisen, lassen die komplexen, nichtlinearen Parameter erweiterte Aussagen über die im Signal enthaltene Dynamik zu (vgl. Lippens et al., 2007, 2008; Gottschall et al., 2009).

3 Ausdifferenzierung eines Forschungsfeldes

Nach ersten mehr explorativen Einzelfallanalysen in Rehabilitationsverläufen von Sportstudierenden mit Fuß- bzw. Kniegelenksverletzungen und kleineren Vorversuchen mit Sportstudierenden (z. B. Lippens et al., 2003) haben wir in einer Langzeitstudie die Gleichgewichts-Leistungen von Senioren bei Skilanglaufkursen über einen Zeitraum von mehreren Jahren untersucht und positive Interventionseffekte nachweisen können (Lippens & Nagel, 2008). Diese Art der Qualitätssicherung von unterschiedlichen Bewegungskursen („Fit ab 50!“), die von der Hamburger Inline-Skating Schule (HIS e.V.) veranstaltet werden, wird u. a. am Beispiel des Nordic-Walking fortgesetzt (vgl. Adler et al., 2008 a, b).

Zusätzlich haben wir die Untersuchungsanordnung der Gleichgewichtsmessungen grundsätzlich evaluiert und den Einfluss von perzeptiv-orientierten, supraposturalen Aufgaben auf die Gleichgewichts-Leistungen in unterschiedlichen Altersgruppen (Schulkinder, Sportstudierende, Senioren) auch auf dem Messkreisel nachweisen können (z. B. Lippens, 2005; Lippens & Nagel, 2004, 2009a). Nach unserem Verständnis muss die posturale Kontrolle unter Berücksichtigung des jeweiligen Handlungsbezugs reflektiert werden (Lippens & Nagel, i. Dr.), um mögliche Trainingseffekte von Artefakten der benutzten Untersuchungsmethodik abgrenzen zu können (Adler et al., 2008a, i. V.). Die erfolgreiche Replikation dieser supraposturalen Aufgabeneffekte bei der Untersuchung der Gleichgewichts-Leistungen in der Nachfolge der Arbeitsgruppe um Stoffregen (vgl. 1999-2007) hat uns veranlasst, dieses Forschungsfeld auf einer Tagung der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs) zu diskutieren.

4 Gleichgewichts-Leistungen im Handlungsbezug

Die in diesem Buch versammelten Beiträge wurden – bis auf eine Ausnahme – auf der Tagung der dvs-Sektion Sportmotorik 2009 in Darmstadt vorgestellt. Die ersten fünf Autorengruppen trugen ihre Arbeiten in einem Arbeitskreis „Gleichgewichts-Leistungen im Handlungsbezug“ vor. Den Beitrag von Nagel, Gehrke und Lippens haben wir zusätzlich aufgenommen, weil er ebenfalls den Handlungsbezug bei einer Interventionsmaßnahme thematisiert. Mersmann et al. haben auf der Tagung ihren Beitrag ursprünglich als Poster präsentiert. Wir haben ihn wegen der passenden Thematik diesem Band hinzugefügt. Alle Arbeiten diskutieren letztlich einen Handlungsbezug bei der Untersuchung der Gleichgewichts-Leistung – wenn auch aus verschiedenen konzeptionellen Perspektiven und mit unterschiedlichem Erkenntnisinteresse.

Sabine Schäfer, Ralf Krampe und Ulmann Lindenberger stellen als aktuelle und ehemalige Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung aus Berlin eine Untersuchung über das gleichzeitige Balancieren und Bearbeiten von Denkaufgaben vor, die sie mit Kindern und jungen Erwachsenen durchgeführt haben. Die Autoren untersuchen unter dem Konzept der Ressourcen-Allokation das Wechselspiel von motorischen und kognitiven Anforderungen in einer typischen Doppelaufgabensituation. Für unseren thematischen Zusammenhang ist insbesondere interessant, dass die Kinder die Balance-Leistung dann verbessern können, wenn sie gleichzeitig die kognitive Aufgabe lösen sollen. Dieser Effekt bleibt auch erhalten, wenn die Kinder implizit instruiert werden, sich mehr auf die kognitive Aufgabe zu konzentrieren. Die schon an anderer Stelle unter Bezug auf Hay und Redon (1999, S. 155) vorgeschlagene Erklärung (Schäfer et al., 2008, S. 755), dass die Kinder von einer *feedback*-bezogenen Reaktion auf eine *feedforward*-bezogene Steuerung wechseln, ist u. E. problematisch. Abweichend von den Versuchsbedingungen bei Hay und Redon verursachen die Kinder bei Schäfer et al. (2008, i. d. B.) die ausgleichende (Kreisel-)Bewegung nicht selbst, sondern müssen auf die bewegte

Plattform reagieren. Es wäre interessant weiter zu untersuchen, ob Kinder im Unterschied zu Erwachsenen mit weniger Aufwand die Systemeigenschaften der sich bewegenden Plattform in einer explorativen Phase erkennen und dann auf eine antizipative Gleichgewichtssteuerung umschalten können.

Volker Lippens, Volker Nagel und Henrike Adler berichten unter einer anderen Konzeptionierung, der funktionalen Integration der Gleichgewichts-Leistung, über eine Untersuchung zum Einfluss von visuellen und motorischen Anteilen bei supraposturalen Aufgabe, die mit Sportstudierenden der Universität Hamburg auf dem Messkreisel durchgeführt wurde. In Ergänzung zu den bisherigen Befunden auf einer ebenen, stabilen Standfläche (Kraftmessplattform) bestätigen die Ergebnisse den Effekt von supraposturalen Aufgaben auch unter den dynamischeren Bedingungen auf dem lagelabilen Messkreisel. Nachdem wir in bisherigen Arbeiten u. a. den Unterschied zwischen kognitiven supraposturalen Aufgaben (z. B. Rechnen vs. Lesen) thematisiert haben (z. B. Lippens, 2005; Lippens et al., 2007), können wir nun zeigen, dass auch eine zusätzliche motorische Einschränkung beim Balancieren (Reduzierung der möglichen Ausgleichsbewegungen) auf dem Kreisel die Gleichgewichts-Leistung nicht wesentlich beeinträchtigt.

Claudia Voelcker-Rehage aus dem Zentrum für lebenslanges Lernen der Jacobs University in Bremen hat zusammen mit Volker Lippens, damals Universität Oldenburg, die Gleichgewichts-Leistungen von älteren Senioren mit Hilfe unterschiedlicher Messverfahren evaluiert. Die Daten einfacher Koordinationstests zum Gleichgewicht halten aus einer Studie „Bewegtes Alter“ wurden mit Daten der Messkreiselauflagen in einer Faktorenanalyse analysiert und verglichen. Die Ergebnisse lassen sich nicht in die vorliegenden traditionellen Systematisierungen der Bewegungslehre (z. B. Fleishman et al., 1961: statisches vs. dynamisches Gleichgewicht; vgl. auch Fetz, 1990; Roth, 1982: Koordination unter Zeit- bzw. Präzisionsdruck; Olivier, 1997: Fähigkeits- vs. Fertigungsorientierung) einordnen. Stattdessen scheint ein Bezug auf Strategieadaptionen sinnvoller zu sein, der dann auch hier die Effekte der supraposturalen Aufgaben begründen könnte.

Julia Gottschall und Joachim Peinke aus dem Institut für Physik der Universität Oldenburg sowie Volker Lippens und Volker Nagel aus dem Fachbereich Bewegungswissenschaft der Universität Hamburg haben eine Re-Analyse der Gleichgewichtsdaten vorgenommen. Mit den methodischen Kenntnissen der Oldenburger Kollegen wird es in einem dynamischen Ansatz nun möglich, eine entsprechende Modellierung der Kreiselbewegung als Langevin-Prozess vorzunehmen. Die Ergebnisse zeigen, wie sich geeignete Drift- und Diffusionsparameter aus den Messdaten rekonstruieren lassen. Anhand dieser Parameter können in einer statistischen Auswertung vor allem visuell-orientierte supraposturale Aufgabeneffekte nachgewiesen werden. Allerdings zeigt sich dann auch, dass die motorischen Einschränkungen auf dem Messkreisel (Reduzierung der möglichen Ausgleichsbewegungen) zu einer Veränderung der Drift-Anteile in der Kreiselbewegung führen, die mit dem bisherigen Analyseverfahren nicht sofort zu erkennen war (vgl. Lippens et al., i. d. B.). Das Verfahren ermöglicht damit eine detailliertere Evaluierung von Interventionsmaßnahmen.

men in Lern- bzw. Optimierungsprozessen (Lippens et al., 2008). Einschränkend muss allerdings festgehalten werden, dass unsere bisherigen Arbeiten darauf angewiesen sind, die Messdaten der Kreiselbewegung in die beiden Richtungsanteile (anterior-posterior, medial-lateral) getrennt zu analysieren, um die für das Auswerteverfahren notwendige Datenqualität zu gewährleisten.

Andreas Bund und Manuell Altmeyen aus dem Institut für Sportwissenschaft der Universität Oldenburg sowie Volker Lippens stellen eine Studie, die aus der dortigen Lehrtätigkeit entstanden ist. Der Einfluss von selbst- vs. fremdgesteuertem, extrinsischen Feedback wurde bei der Optimierung der Gleichgewichts-Leistung auf dem Messkreisel geprüft. In der Retentions-Untersuchung wurden zusätzlich supraposturale Aufgaben angewandt, mit denen der alltägliche Handlungszusammenhang des Koordinationsmodus standardisiert werden sollte. Die Ergebnisse zur Optimierung der Gleichgewichts-Leistung stehen im Widerspruch zu den bisherigen Befunden, die aus dem Bereich des Bewegungslernens zur Feedback-Steuerung vorliegen. Allerdings konnte auch hier ein Effekt der im Retentions-Test benutzten supraposturalen Aufgaben repliziert werden.

Volker Nagel, Nils Gehrke und Volker Lippens von der Universität Hamburg haben eine Studie zur Wirksamkeit eines Ergänzungstrainings bei jugendlichen Basketballspielern durchgeführt. Das schon in anderen situativen Sportspielarten (z. B. Volleyball, Hockey) erprobte Trainingsmittel Inline-Skaten provoziert insbesondere die zweckmäßige Lösung von motorischen Aufgaben in dynamischen Situationen (Nagel, 1998). Durch die permanente Veränderung der Körperschwerpunktlage im Verhältnis zur Unterstützungsfläche wird das Gleichgewicht intensiv gefordert. Gemessen haben wir die Gleichgewichts-Leistung auf dem Messkreisel mit und ohne supraposturale Aufgabe. Es lässt sich ein signifikanter Trainings- und Aufgabeneffekt nachweisen. Insbesondere die Spieler, die im Angriff auf den Positionen des Centers bzw. Flügels spielen, verbessern sich unter der Bedingung der Suchaufgaben. Gleichzeitig ist auch zu beobachten, dass bei diesen Spielern die kognitive Such-Leistung schneller und genauer wird. Die Gleichgewichts-Leistung erleichtert das Lösen der übergeordneten Aufgaben im jeweiligen Handlungszusammenhang. Es erscheint lohnenswert, diese Wechselwirkungen zwischen einer verbesserten motorischen Leistung nach einem Ergänzungstraining und den in der spezifischen Spielsituation notwendigen kognitiven Leistungen ausführlicher zu untersuchen.

Falk Meersmann, Anne Schwedler, Christian Saal und Lars Janshen von der Humboldt-Universität in Berlin berichten über eine Studie, in der sie die Fertigkeitsspezifität des Einbeinstands auf unterschiedlichem Untergrund überprüft haben. Sportstudierende absolvierten einen Einbeinstand auf einer stabilen Kraftmessplatte und einem relativ lagelabilen Therapiekreisel. Die Autoren konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den jeweiligen Gleichgewichts-Leistungen finden. Nach ihrer Interpretation stellen die beiden Aufgaben unterschiedliche Anforderungen an die Gleichgewichtsregulation und sind fertigkeitsspezifisch zu betrachten. Besondere Beachtung sollte u. E. das methodische Vorgehen der Autoren erhalten, die die Gleichgewichts-Leistungen über anthropometrische Größen standardisieren. Die

Literaturlage zu geschlechtsspezifischen Unterschieden anhand einer Standardisierung über die Körpergröße erscheint sehr uneinheitlich (z. B. Bryant et al., 2005; Chiari et al., 2002; Era et al., 2002). Allerdings eröffnet das Vorgehen neue Möglichkeiten, den Einfluss von Körpermaßen (*body-scaled*) auf die Gleichgewichts-Leistungen beim Stehen auf stabilem Untergrund (vgl. Fujiwara, Kiyota, Maeda & Horak, 2007; Gribble & Hertel, 2003; Maki et al., 1990) auch bei älteren Senioren (Vieira, Oliveira & Nadal, 2008) zu prüfen.

Aus den Diskussionen in und um die Arbeitskreise sind neue Projekte entstanden: So prüft Julia Gottschall (jetzt Technical University of Denmark) zurzeit, ob der Lengevin-Prozess auch mit CoP-Daten von Gleichgewichts-Leistungen auf der Kraftmessplatte (Universität Gießen) modelliert werden kann. Mit Unterstützung von Kerstin Witte (Universität Magdeburg) wollen wir den Einfluss von supraposturalen Aufgaben auf die Gleichgewichts-Leistung auf der Kraftmessplattform prüfen. In Zusammenarbeit mit Sabine Schäfer (MPI, Berlin) und Claudia Voelcker-Rehage (Jacobs University, Bremen) planen wir, die möglichen Reichweiten der in den Arbeitsgruppen benutzten Konzepte, Ressourcen-Allokation und funktionale Integration, in einer gemeinsamen Untersuchung mit dem Messkreislauf auf einer Kraftmessplattform zu explorieren.

Diese Zusammenarbeiten könnten neue Möglichkeiten eröffnen, Gleichgewichts-Leistungen im Handlungsbezug weiter zu erforschen.