

- Levine, S. (2015). dc.js – Dimensional Charting Javascript Library. Zugriff am 01.11.2015 unter <https://dc-js.github.io/dc.js/>
- Nagel, V. & Lippens, V. (Hrsg.). (2009). *Gleichgewichts-Leistungen im Handlungsbezug*. Aktuelle Arbeiten aus der Gleichgewichtsforschung (S. 7-12) Hamburg: Czwalina
- Rinn, Ph., Wächter, M. & Peinke, J. (2016). On the application of the Langevin Approach to balance data. In V. Lippens & V. Nagel (Hrsg.), *Zur Problematik der Gleichgewichts-Leistung: Theorie – Messtechnik – Datenverarbeitung – Anwendungen* (S. 43-49). Hamburg: Czwalina.
- Square, Inc., 2012. Zugriff am 1.11.2015 unter <http://square.github.io/crossfilter/>
- The PostgreSQL Global Development Group, 2015. Zugriff am 01.11.2015 unter <http://www.postgresql.org/>

ANDREAS BUND & VOLKER LIPPENS

Zum Einfluss der Untersuchungsmethode auf den Effekt supraposturaler Aufgaben: Eine metaanalytische Betrachtung

1 Einleitung

Im Unterschied zum so genannten quiet stance-Paradigma der klassischen Gleichgewichtsforschung gehen neuere Arbeiten davon aus, dass – jedenfalls im Alltag – Gleichgewichtsleistungen in einen durch die jeweiligen Person-, Aufgaben- und Umgebungsbedingungen spezifizierten Handlungskontext eingebettet sind. Sie sind also kein Selbstzweck, sondern dienen einem übergeordneten Ziel, z. B. in einem fahrenden Bus im Stehen eine Zeitung zu lesen oder eine Tasse Kaffee von der Küche in das Wohnzimmer zu bringen (z. B. Lippens & Nagel, 2009; Stoffregen, Hove, Bardy, Riley & Bonnet, 2007). In der Fachliteratur hat sich für Aufgaben, die ein solches übergeordnetes Ziel definieren, der Terminus „supraposturale Aufgabe“ (SPA) durchgesetzt. Ist diese Annahme einer funktionalen Integration der Gleichgewichtskontrolle richtig, sollten Gleichgewichtsleistungen ebenso gut oder besser sein, wenn sie mit einer SPA kombiniert sind als wenn dies nicht der Fall ist.

Inzwischen liegt ein beachtlicher Korpus von Studien vor, in denen Gleichgewichtsleistungen in mindestens einer SPA- und Non SPA-Bedingung untersucht wurden. Natürlich unterscheiden sich diese Studien in anderen Punkten, etwa hinsichtlich ihres theoretischen Ansatzes, der Fragestellung oder der Untersuchungsmethodik. Während z. B. in älteren Studien oft das klassische dual task-Paradigma mit seinem Postulat der begrenzten Ressourcen genutzt wird, um den Effekt einer SPA auf die Gleichgewichtsleistung zu untersuchen (z. B. Dault, Frank & Allard, 2001; Holden, Ventura & Lackner, 1994; Shumway-Cook, Woollacott, Kerns & Baldwin, 1997), ist in neueren Arbeiten zumeist die Idee der funktionalen Integration die Grundlage der Analyse (z. B. Claxton, Strasser, Leung & Ryu, 2012; Huang & Hwang, 2013; Park, Schöner & Scholz, 2012; Stoffregen, Bardy, Bonnet & Pagulayan, 2006). Deutlich seltener, nämlich v. a. dann, wenn durch Instruktionen oder Feedback beeinflusste Aufmerksamkeitsprozesse im Mittelpunkt stehen, wird der attentional focus-Ansatz zugrunde gelegt (z. B. Burcal, Drabik & Wikstrom, 2014).

Die Fragestellungen der Studien betreffen i. d. R. die oben erwähnten Person-, Aufgaben- und Umgebungsmerkmale des Handlungskontexts und ihren direkten oder indirekten Einfluss auf die Wirkung der SPA. So stehen bei den Personenmerkmalen häufig Alter, Expertise und Gesundheitsstatus (z. B. Gleichgewichtsstörungen, Parkinson) im Fokus (z. B. Bonnet, Kinsella-Shaw, Frank, Bubela, Harrison & Turvey, 2010; Condrón & Hill, 2002; Dault & Frank, 2003; Prado, Stoffregen & Duarte, 2007; Stiens, Michielsen, Roerdink & Beek, 2009). Im Hinblick auf die SPA selbst werden Typus (kognitiv, perzeptiv, motorisch), Schwierigkeit („cognitive

load", "attentional demands") und Modalität (optisch, akustisch) experimentell variiert (z. B. Andersson, Hagman, Talianzadeh, Svedberg & Larsen, 2002; Pellecchia, 2003; Riley, Baker & Schmitt, 2003; Swan, Otani & Loubert, 2007; Woollacott & VanderVelde, 2008), und was die Umgebung betrifft, richtet sich das Interesse z. B. auf das visuelle Umfeld

("optical flow"), die Standfläche (fest oder weich, bewegt oder nicht bewegt) oder die Bedeutung taktiler Informationen (z. B. de Lima, Azevedo Neto & Teixeira, 2010; Nagano, Yoshioka, Hay & Fukashiro, 2006; Norrie, Maki, Staines, Maki & McIlroy, 2004; Riley, Baker, Schmitt & Weaver, 2005).

Unterschiede hinsichtlich der Untersuchungsmethodik betreffen v. a. die Frage, wie die Gleichgewichtsleistung als abhängige Variable technisch erfasst und in Form welcher Variablen sie operationalisiert wird. In der Mehrheit der Studien kommen Kraftmessplatten zum Einsatz, die Weg, Amplitude und Variabilität der "center of pressure"-Verlagerung in anteroposteriorer und mediolateraler Richtung messen. Es geht dabei um das minimale Schwanken des Körpers im Stand ("postural sway"). Seltener werden kamerabasierte motion capture- bzw. Trackingsysteme verwendet (z. B. Mitra, Knight & Munn, 2014, Stoffregen et al., 2007), andere Instrumente wie Stabilometer oder so genannte Messkreisel bilden die Ausnahme (Adler, Lippens & Nagel, 2010). In fast allen Studien wird außerdem ein Messwiederholungsdesign genutzt, d. h. die SPA- und Non SPA-Bedingung(en) des Experiments werden von ein und derselben Probandengruppe durchlaufen (gewöhnlich in randomisierter Abfolge), Mehrgruppenpläne mit Messwiederholung finden sich dann, wenn Personenmerkmale wie Alter oder Gesundheit untersucht werden (z. B. Bonnet et al., 2010; Brown, Sleik, Polych & Gage, 2002; Prado et al., 2007).

Zu welchen Resultaten kommen nun die bisher vorliegenden Studien? Qualitative Reviews von Barra, Bray, Sahni, Golding und Gresty (2006) sowie Fraizer und Mitra (2008) zeichnen das Bild einer auf den ersten Blick widersprüchlichen Befundlage. Während in vielen Studien der gleichgewichtsverbessernde Effekt einer SPA nachgewiesen werden kann – und damit die Annahme der funktionalen Integration bestätigt wird –, zeigen fast ebenso viele Untersuchungen, dass sich das Schwanken erhöht, wenn zusätzlich eine SPA bewältigt werden muss – was für das dual task-Konzept und begrenzte Ressourcen spricht. Offenbar wird der Effekt einer SPA auf die Gleichgewichtsleistung stark von der Aufgabe selbst sowie den jeweiligen Umgebungsbedingungen beeinflusst. Riley et al. (2005) und Stins et al. (2009) fanden z. B., dass sich eine kognitive Aufgabenstellung wie das Erinnern von Zahlen- bzw. Wortfolgen positiv auf das Gleichgewicht auswirkt. Das gleiche Ergebnis berichten Adler et al. (2009) sowie Prado et al. (2007) für eher perzeptuell ausgerichtete Aufgaben wie das Anvisieren eines Ziels oder das Suchen bestimmter Buchstaben in einem Text. In den Untersuchungen von Melzer et al. (2001) und Shumway-Cook et al. (1997) führten dagegen kognitive und perzeptuelle SPAn (Lückentext, Stroop-Test) zu einer signifikanten Zunahme der Körperschwankung, sowohl bei jungen als auch bei älteren Probanden. Eine wichtige Rolle scheinen die Schwierigkeit der SPA (z. B. Andersson et al., 2002; Riley et al., 2005) sowie Umfang und Verteilung (Prio-

risierung) der von SPA und posturaler Kontrolle beanspruchten Aufmerksamkeit zu spielen (z. B. Donker, 2007; Wehrle, Granacher & Mühlbauer, 2010). Auch für SPAn, bei denen der motorische Anteil überwiegt, liegen divergente Befunde vor. So verringerte sich in der Studie von de Lima et al. (2010) die Körperschwankung, wenn die Probanden einen runden Zylinder auf einem Tablett balancierten, und bei Claxton et al. (2012) standen Kleinkinder ruhiger, wenn sie in den Händen ein Spielzeug hielten und sich damit beschäftigten. Dagegen fanden Marchese et al. (2003) sowie Huang und Hwang (2012) für feinmotorische Zusatzaufgaben keinen signifikanten Effekt auf das Gleichgewicht im bipedalen Stehen.

Stellt sich die Befundlage zu einem bestimmten Thema derart heterogen dar, liegt es nahe, die vorliegenden Studien einer Metaanalyse zu unterziehen, um auf der Grundlage gepoolter Effektschätzer erstens einen Gesamteffekt zu bestimmen und zweitens die Wirkung von Drittvariablen zu untersuchen. Letztere ist in der Regel die Hauptquelle heterogener Befunde, da sich die Studien natürlich in der Auswahl und Ausprägung der Drittvariablen unterscheiden. Damit ist die Zielsetzung der in den folgenden Abschnitten dargestellten Metaanalyse umrissen. Hinsichtlich der Drittvariablen soll in dieser Publikation der Fokus exemplarisch auf jeweils nur *einem* Merkmal der Person (Alter), der Aufgabe (Typus) und der Umgebung (visuelles Umfeld) liegen. Außerdem werden verschiedene Aspekte der Untersuchungsmethode (Forschungsparadigma, Messinstrument, Outcome) geprüft.

2 Fragestellungen und Hypothesen

Im Hinblick auf den Gesamteffekt lautete die Fragestellung der Metaanalyse:

Welchen Effekt haben SPAn auf die Gleichgewichtsleistung?

Der Faktor „SPA“ ging damit als unabhängige Variable in der binären Stufung SPA vorhanden/nicht vorhanden in die Metaanalyse ein, wobei die zweite Stufe der typischen „quiet stance“-Bedingung entspricht. Die Gleichgewichtsleistung bildete die abhängige Variable. In Anlehnung an das Konzept der funktionalen Integration formulierten wir eine gerichtete Hypothese:

H₁: SPAn haben einen signifikant positiven Effekt auf die Gleichgewichtsleistung.

Mit SPA sollte die Gleichgewichtsleistung also signifikant besser bzw. die Körperschwankung signifikant geringer sein als ohne SPA. Die Hypothese ist verifiziert, wenn die mittlere Gesamteffektstärke positiv und signifikant verschieden von Null ist. Für die Analyse der o. g. Drittvariablen wurden folgende Fragestellungen zugrunde gelegt:

Beeinflussen Alter, SPA-Typus und/oder visuelles Umfeld den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung?

Beeinflussen Forschungsparadigma, Messinstrument und/oder Outcome-Parameter den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung?

Die entsprechenden Hypothesen wurden ungerichtet formuliert:

H₂: Alter, SPA-Typus und/oder visuelles Umfeld haben einen signifikanten Einfluss auf den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung.

H₃: Forschungsparadigma, Messinstrument und/oder Outcome-Parameter haben einen signifikanten Einfluss auf den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung.

Diese Hypothesen können angenommen werden, wenn sich die für die jeweiligen Subgruppen (gebildet durch die Stufen der Drittvariablen) berechneten Effektstärken signifikant voneinander unterscheiden.

3 Methode

3.1 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche erfolgte hauptsächlich über internetgestützte Datenbanken und Recherchesysteme mit sportwissenschaftlichem und medizinischem Schwerpunkt: SPOLIT und SPOFOR des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, SPONET und SPOWIS des Instituts für Angewandte Trainingswissenschaft, MEDLINE und PubMed. Außerdem wurden Suchmaschinen und -portale wie Web of Science und Google Scholar genutzt. Folgende Deskriptoren wurden für die Recherche verwendet (in alphabetischer Reihenfolge): Balance, dual task, postural control, postural coordination, postural stability, postural sway, suprapostural task. Darüber hinaus wurden einschlägige Journals (z. B. Gait & Posture, Journal of Gerontology) sowie die Literaturverzeichnisse von Übersichtsartikeln und bereits vorliegenden Studien ausgewertet. Sämtliche Recherchetätigkeiten wurden von den Autoren dieses Beitrags (A. Bund, V. Lippens) unabhängig voneinander durchgeführt.

3.2 Selektionskriterien

Die Sichtung und ggf. Aufnahme der Primärstudien in die Metaanalyse erfolgte auf der Grundlage a priori formulierter Selektionskriterien. *Allgemeine* Selektionskriterien bezogen sich auf die Publikationssprache (Deutsch, Englisch), den Publikationszeitraum (1990-2015) und den Publikationstypus (Fachzeitschrift, Kongress- und Sammelbände, Monografien). In der Fachliteratur findet sich die Empfehlung, auch nicht publizierte Studien zu berücksichtigen, um einem Publikationsbias entgegenzuwirken (z. B. Higgins et al., 2011; Ziegler, Lange & Bender, 2004). Das Auffinden solcher Arbeiten ist jedoch schwierig und es ist unsicher, ob Aufwand und Nutzen in einem vernünftigen Verhältnis stehen. Wir entschieden uns deshalb, mit Hilfe entsprechender statistischer Prozeduren zu prüfen, ob und in welcher Form ein Bias vorliegt und die ermittelten Effektstärken ggf. zu korrigieren (s. u.).

Spezifische Selektionskriterien betrafen v. a. die methodischen Voraussetzungen. Die Primärstudien mussten (a) mindestens eine SPA- und eine Non-SPA-Bedingung aufweisen und (b) dabei die Gleichgewichtsleistung im Stand erfasst haben. Hin-

sichtlich des Typus' der SPA wurden keine Einschränkungen gemacht. Die o. g. Versuchsbedingungen sollten außerdem (c) in einem Messwiederholungsdesign ("cross over") mit Ein- oder Mehrgruppenplan sowie (d) mit gesunden Probanden durchlaufen worden sein. Primärstudien, die gesunde und nicht gesunde Personen einschlossen, wurden aber mit ihrer/ihren gesunden Teilstichprobe/n berücksichtigt, sofern sie allen anderen Kriterien genügten (z. B. Marchese et al., 2003; Shumway-Cook et al., 1997). Zuletzt mussten (e) die für eine Berechnung der Effektstärken notwendigen statistischen Parameter angegeben sein. Weitere Vorgaben, z. B. hinsichtlich der Stichprobengröße und -zusammensetzung, der SPA oder des Messinstruments, gab es nicht. Diese und andere Merkmale der Primärstudien wurden jedoch kodiert, um sie später ggf. als Drittvariablen berücksichtigen zu können.

Der Selektionsprozess ist in Abbildung 1 als Flussdiagramm dargestellt. Als Ergebnis der Literaturrecherche konnten zunächst 532 Primärstudien als potentiell relevant identifiziert werden. 342 Studien wurden aufgrund der allgemeinen Selektionskriterien (v. a. Publikationszeitraum und -sprache) ausgeschlossen, so dass noch 190 Primärstudien verblieben. Das Screening der abstracts führte zum Ausschluss von weiteren 84 Primärstudien, nunmehr aufgrund spezifischer Selektionskriterien (z. B. fehlende SPA oder Gleichgewichtsmessung); 17 Primärstudien erwiesen sich als Theorie- oder Reviewbeiträge. Im letzten Schritt wurden 106 Primärstudien im Volltext geprüft, wobei sich zeigte, dass in 61 Studien entweder die Voraussetzungen hinsichtlich der SPA-Bedingungen oder der Gleichgewichtsmessung nicht erfüllt waren oder notwendige statistische Angaben fehlten. 45 Primärstudien wurden schließlich in die Metaanalyse aufgenommen.

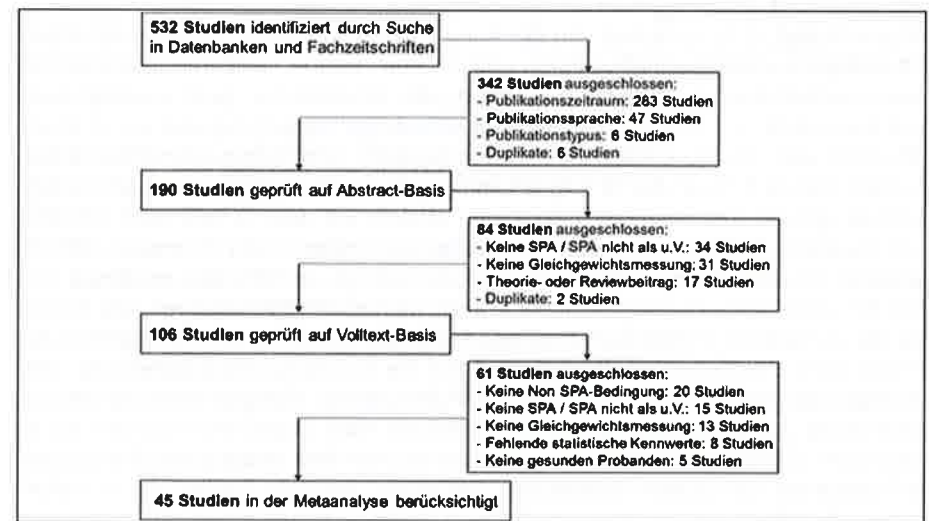


Abb. 1. Selektion der Primärstudien.

3.3 Kodierung

Die Kodierung erfolgte nach einem ebenfalls a priori erstellten Protokoll, das später noch geringfügig modifiziert wurde. Folgende Merkmale der Primärstudien wurden kodiert: (a) Studie (Autoren, Titel, Publikationsjahr, -sprache und -typus, Anzahl der Experimente, Forschungsparadigma), (b) Probanden (Anzahl, Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, Gesundheitsstatus), (c) Methode (Studiendesign, Randomisierung der Testbedingungen, SPA und SPA-Typus, Position der FüÙe, Material der Standfläche, Standfläche bewegt/nicht bewegt, Augen offen/geschlossen), (d) Messung des Gleichgewichts (Instrument, Dauer und Anzahl der Einzelmessungen, Dauer der Gesamtmessung, Messfrequenz, Outcome) und (e) statistische Kennwerte zur Effektstärkenberechnung (M, SD, SE, t, F, df, p, n). Merkmale, die als Drittvariablen in die Metaanalyse eingehen sollten, wurden von den Autoren dieses Beitrags unabhängig voneinander kodiert. Die Intercoderreliabilität (Cohen's Kappa) fiel durchgängig gut bis sehr gut aus (z. B. Forschungsparadigma .80, SPA-Typus .88, Messinstrument .98, Augen offen/geschlossen .96).

3.4 Statistik

Als Effektstärkenmaß wurde Hedges g (Hedges, 1981) gewählt, da es im Vergleich zu Cohen's d bei der Berechnung der gepoolten Varianz konservativer ist und bei kleineren Stichproben deshalb zu einer besseren Schätzung der Effektstärke führt (Bortz, 2005). Konnten für eine Studie mehrere Effektstärken ermittelt werden (z. B. weil es mehrere SPA-Bedingungen und/oder Outcome-Variablen gab), wurde eine mittlere Studieneffektstärke inklusive Standardfehler (SE) und Konfidenzintervall (KI) berechnet. Die Integration der Studieneffektstärken erfolgte nach dem random-effects-Modell, d. h. es wurde von der Annahme ausgegangen, dass die einzelnen Effektstärken zufallsbedingt variieren und um den „wahren“ mittleren Gesamteffekt normalverteilt sind. Da hier die Gewichtung der Effektstärken nicht ausschließlich von ihrer (inversen) Varianz abhängt, fällt sie weniger ausgeprägt aus als im fixed-effects-Modell. Die so erhaltenen mittleren Gesamt- und Subgruppeneffektstärken wurden mittels Z- bzw. (bei $df \geq 2$) Q-Omnibus-Test und Konfidenzintervall auf Signifikanz geprüft. Die Homogenitätsprüfung erfolgte mit dem Q-Test nach Shadish und Haddock (1994) sowie dem I^2 -Parameter nach Higgins und Thompson (2002); letzterer indiziert bei einem Wert um 25% eine geringe, um 50% eine moderate und um 75% eine große Heterogenität der jeweilig integrierten Effektstärken. Der Frage, ob die selektierten Primärstudien einem Publikationsbias (zugunsten signifikanter Ergebnisse) unterliegen, wurde erstens durch die Erstellung eines funnel plots und zweitens die Anwendung entsprechender Prüfverfahren (Rangkorrelationsmethode nach Begg und Mazumdar, trim and fill-Methode nach Duval und Tweedie) nachgegangen. Desweiteren wurden die Effektstärken vor dem Hintergrund des fail safe N-Parameters nach Orwin interpretiert, der angibt, wieviele Studien mit Nulleffekt notwendig wären, um sie unter den trivialen Wert von 0.1 absinken zu lassen. Alle Berechnungen wurden mit der Software „Comprehensive Meta Analysis“, Version 2.0 (Borenstein, Hedges, Higgins & Rothstein, 2005) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Primärstudien

Insgesamt 45 Studien mit 54 Experimenten wurden in die vorliegende Metaanalyse aufgenommen. Daraus konnten 235 Effektstärken extrahiert werden. Die 1202 Probanden verteilten sich in Stichproben mit durchschnittlich 22.3 Personen (SD = 15.3, Min = 6, Max = 98) auf die Studien und waren im Schnitt 34.6 Jahre alt (SD = 21.1, Min = 1.0, Max = 79.1). In 27 Primärstudien (60%) setzten sich die Stichproben aus Frauen und Männern zusammen, in 2 Studien (4.4%) aus Frauen und in 16 Studien (35.6%) wurden dazu keine Angaben gemacht. In ebenfalls 27 Primärstudien (60%) wurden ausschließlich junge Erwachsene (< 40 Jahre) getestet, in 3 Studien (6.6%) ältere Erwachsene (> 60 Jahre) und in 12 Studien (26.6%) beide Altersgruppen. In nur 2 Studien (6.6%) stellten Kinder bzw. Jugendliche die Stichprobe. Im Hinblick auf die SPA kamen in 16 Primärstudien (35.5%) kognitive und in jeweils 12 Studien (26.6%) perzeptive bzw. motorische Aufgabenstellungen zum Einsatz. Mehr als ein SPA-Typus fand sich in 5 Studien (11.1%). In fast allen Primärstudien wurden Kraftmessplatten (36 Studien, 77.7%) oder Trackingsysteme (8 Studien, 17.7%) für die Gleichgewichtsmessung verwendet, nur für 2 Arbeiten (4.4%) wurden Messkreisel konstruiert. Während der Gleichgewichtsmessung hatten die Probanden in 33 der Primärstudien (73.3%) die Augen offen und in 4 Studien (8.8%) geschlossen. Beide Testbedingungen gab es in 8 Untersuchungen (17.7%). Schließlich interessiert der theoretische Hintergrund der Primärstudien: In 23 Arbeiten (51.1%) rekurrierten die Autoren auf den dual task-Ansatz und in 17 Studien (37.7%) auf die Annahmen der funktionalen Integration. Nur in 2 Studien (4.4%) wurde ein Bezug zum attentional focus-Konzept hergestellt. Keine Zuordnung gelang für 3 Studien (6.6%). In Tabelle 1 sind die in die Metaanalyse einbezogenen Primärstudien zusammengestellt.

4.2 Publikationsbias

Der in Abbildung 2 dargestellte funnel plot trägt die Effektstärken der Primärstudien gegen die Inverse ihrer Standardfehler (also ihre Präzision) auf und weist damit auf folgende Sachverhalte hin:

- Die Effekte der Primärstudien verteilen sich zwar relativ symmetrisch um den geschätzten Gesamteffekt, streuen dabei aber kaum bezüglich ihrer Präzision, so dass optisch kein Tunnel entsteht. Nur zwei Studien (Swan et al., 2007; Wehrle et al., 2010) weisen größere Stichproben und deshalb sehr gute Präzisionswerte auf.
- Vier Primärstudien mit geringer Präzision und stark positiven Effekten (Stoffregen et al., 1999, Exp. 1, 5, 6 und 7) stehen keine Studien mit vergleichbar negativen Effekten gegenüber. Untersuchungen mit kleinem N, in denen sich die Gleichgewichtsleistung unter SPA-Bedingungen verschlechtert, sind in der Metaanalyse somit unterrepräsentiert. Trotzdem werden unter den Voraussetzungen des random effects-Modells durch die trim and fill-Prozedur keine Studien als „missing studies“ hinzugefügt.

Tab. 1. Primärstudien der Metaanalyse.

Nr.	Studie	N	Alter	Theorie	SPA-Typ	Outcome	Instrument	Augen
1	Adler et al., 2009, Exp. 1 Adler et al., 2009, Exp. 2	12 33	Junge Erw. Alte Erw.	Funktionale Integration Funktionale Integration	Perzeptiv Perzeptiv	Overall Overall	Messkreisell Messkreisell	Offen Offen
2	Andersson et al., 2011, Exp. 1 Andersson et al., 2011, Exp. 2	30 20	Junge Erw. Junge Erw.	Dual task / Ressourcen Dual task / Ressourcen	Kognitiv Kognitiv	AP + ML AP + ML	Kraftmessplatte Kraftmessplatte	Geschlossen Geschlossen
3	Bonnét et al., 2010	24	Junge + alte Erw.	Funktionale Integration	Perzeptiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
4	Brauer et al., 2001	15	Alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Perzeptiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
5	Brown et al., 2002	30	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
6	Burcal et al., 2014	22	Junge Erw.	Aufmerksamkeitsfokus	Kognitiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
7	Cavanaugh et al., 2007	30	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
8	Claxton et al., 2011	15	Kleinkinder (1 J.)	Funktionale Integration	Motorisch	Overall	Kraftmessplatte	Offen
9	Claxton et al., 2012	11	Kleinkinder (1 J.)	Funktionale Integration	Perzeptiv	AP	Kraftmessplatte	Offen
10	Condron & Hill, 2002	40	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	ML	Kraftmessplatte	Offen
11	Dault et al., 2001	20	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv + perzeptiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
12	Dault & Frank, 2004	30	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Perzeptiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
13	Dault, Geurts et al., 2001	24	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Perzeptiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
14	Donker et al., 2007	30	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
15	Holden et al., 1994	12	Junge Erw.		Motorisch	Overall	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
16	Hsu & Scholz, 2012	8	Junge Erw.	Funktionale Integration	Motorisch	Overall	Tracking	Offen
17	Huang & Hwang, 2013	14	Junge Erw.	Funktionale Integration	Motorisch	Overall	Kraftmessplatte	Offen
18	Lima et al., 2010	16	Junge Erw.	Funktionale Integration	Motorisch	Overall	Tracking	Offen
19	Lippens & Nageel, 2009	8	Alte Erw.	Funktionale Integration	Perzeptiv	Overall	Messkreisell	Offen
20	Marchese et al., 2003	20	Alte Erw.		Kognitiv + motorisch	Overall	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
21	Meizer et al., 2001	40	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Perzeptiv	Overall + AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
22	Mitra, 2004	25	Junge Erw.	Funktionale Integration	Perzeptiv	AP + ML	Tracking	Offen
23	Mitra et al., 2013	40	Junge Erw.	Funktionale Integration	Kognitiv	ML	Tracking	Offen
24	Nornie et al., 2002	6	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Motorisch	AP	Kraftmessplatte	Offen

Tab. 1. Primärstudien der Metaanalyse (Fortsetzung).

Nr.	Studie	N	Alter	Theorie	SPA-Typ	Outcome	Instrument	Augen
25	Park et al., 2012	12	Junge Erw.	Funktionale Integration	Motorisch	AP	Kraftmessplatte	Offen
26	Pellecchia, 2003	20	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
27	Pellecchia, 2005	18	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
28	Prado et al., 2007	24	Junge + alte Erw.	Funktionale Integration	Perzeptiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
29	Quant et al., 2004	7	Junge Erw.		Motorisch	AP	Kraftmessplatte	Offen
30	Redfern et al., 2001	36	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Motorisch	AP	Kraftmessplatte	Offen
31	Riley et al., 1999	24	Junge Erw.	Funktionale Integration	Motorisch	Overall	Tracking	Geschlossen
32	Riley et al., 2003	23	Junge Erw.	Funktionale Integration	Kognitiv	AP + ML	Kraftmessplatte	Geschlossen
33	Riley et al., 2005, Exp. 1 Riley et al., 2005, Exp. 2	20 20	Junge Erw. Junge Erw.	Aufmerksamkeitsfokus Aufmerksamkeitsfokus	Kognitiv Kognitiv	Overall + AP + ML	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
34	Shurway-Cock et al., 1997	40	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv + perzeptiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
35	Stins et al., 2009	30	Kinder (12 J.)	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
36	Stoffregen et al., 1999, Exp. 1 Stoffregen et al., 1999, Exp. 2 Stoffregen et al., 1999, Exp. 5 Stoffregen et al., 1999, Exp. 6 Stoffregen et al., 1999, Exp. 7	8 8 8 8 8	Junge Erw. Junge Erw. Junge Erw. Junge Erw. Junge Erw.	Funktionale Integration Funktionale Integration Funktionale Integration Funktionale Integration Funktionale Integration	Perzeptiv Perzeptiv Perzeptiv Perzeptiv Perzeptiv	AP + ML AP + ML AP + ML AP + ML AP + ML	Tracking Tracking Tracking Tracking Tracking	Offen Offen Offen Offen Offen
37	Stoffregen et al., 2006, Exp. 1, Stoffregen et al., 2006, Exp. 2	14 14	Junge Erw. Junge Erw.	Funktionale Integration Funktionale Integration	Perzeptiv + motorisch	AP + ML AP + ML	Tracking Tracking	Offen + geschlossen
38	Stoffregen et al., 2007, Exp. 1, Stoffregen et al., 2007, Exp. 2	12 12	Junge Erw. Junge Erw.	Funktionale Integration Funktionale Integration	Perzeptiv Perzeptiv	AP + ML AP + ML	Kraftmessplatte + Tracking	Offen geschlossen
39	Swan et al., 2004	36	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen + geschlossen
40	Swan et al., 2007	98	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
41	Vuillerme et al., 2006	9	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Motorisch	Overall	Kraftmessplatte	Offen
42	Vuillerme & Nafati, 2007	16	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Motorisch	AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
43	Weeks et al., 2003	18	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv + motorisch	Overall + AP + ML	Kraftmessplatte	Offen
44	Wehrle et al., 2010	60	Junge Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Offen
45	Yardley et al., 2001	24	Junge + alte Erw.	Dual task / Ressourcen	Kognitiv	Overall	Kraftmessplatte	Geschlossen

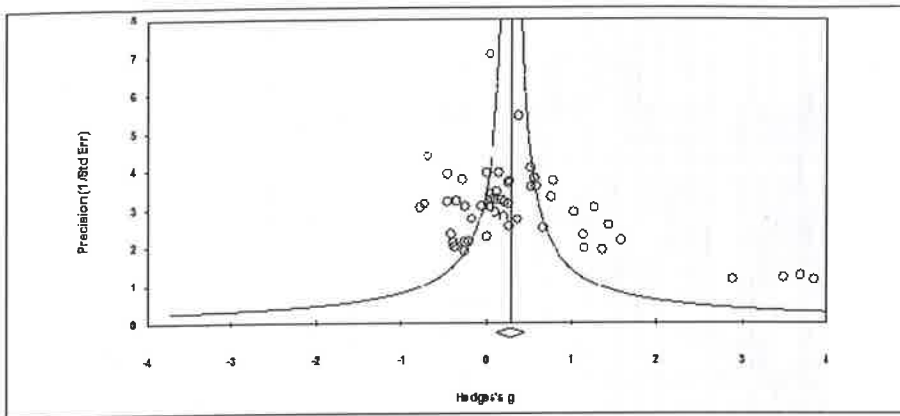


Abb. 2. Funnel plot der Metaanalyse (Präzision x Hedges g).

Allerdings verfehlt Kendall's *tau b* als Prüfgröße des Rangkorrelationstests von Begg und Mazumdar mit 0.171 und $p = .066$ (einseitig) nur knapp die Signifikanzgrenze und weist damit sehr wohl auf einen Publikationsbias hin. Das positive Vorzeichen von *tau b* verweist darauf, dass in der Metaanalyse zumindest auch einige Primärstudien vertreten sein müssen, die bei kleiner Stichprobe nur einen mittleren Effekt produzierten. Insgesamt werden für diese Studien jedoch überzufällig häufig große Effektstärken ausgewiesen; dafür ist allerdings v. a. die schon erwähnte Stoffregen-Studie verantwortlich. Das Ergebnis der – im Vergleich zum Rangkorrelationstest – teststärkeren Regressionsmethode nach Egger bestätigt mit *Intercept* (B_0) = 2.377 ($KI = 0.911-3.844$) und $p = .001$ (einseitig) den Bias.

4.3 Gesamteffekt

Der Berechnung des Gesamteffektschätzers liegen die mittleren Effektstärken der insgesamt 54 Primärstudien bzw. – experimente zugrunde wie sie in Abbildung 3 in Form eines forest plots dargestellt sind. 37 Effektstärken liegen im positiven Wertebereich und zeigen damit eine schwankungsreduzierende Wirkung der jeweiligen SPA an; in diesen Studien war die Gleichgewichtsleistung mit SPA besser als ohne. 16 Effektstärken sind negativ und belegen einen schwankungserhöhenden Effekt, für eine Studie (Vuillerme et al., 2006) ergibt sich ein Nulleffekt. Daraus resultiert ein mittlerer Gesamteffekt von $g_{gesamt} = 0.290$ ($SE = 0.085$), d. h. insgesamt führten die SPAn zu besseren Gleichgewichtsleistungen. Es handelt sich um einen relativ kleinen Effekt, der aber signifikant verschieden von Null ist, $Z_{gesamt} = 3.407$, $p = .001$ (einseitig), $KI = 0.123-0.456$. *Orwin's fail safe N* für $g < 0.1$ liegt bei 54 Studien mit Nulleffekt. Die Signifikanz des Gesamteffekts bleibt auch dann erhalten, wenn die vier Experimente von Stoffregen et al. (1999) als Ausreißer aus der Analyse entfernt werden, $g_{gesamt} = 0.189$ ($SE = 0.073$) mit $Z_{gesamt} = 2.606$, $p = .005$ (einseitig), $KI = 0.123-0.456$ und *Orwin's fail safe N* = 33 Studien. Damit kann die im Hinblick auf

den Gesamteffekt formulierte Hypothese H_1 verifiziert werden: SPAn haben einen signifikant positiven Effekt auf die Gleichgewichtsleistung. Die einzelnen Studieneffekte sind jedoch nicht homogen, $Q(53) = 186.170$, $p = .001$ und $I^2 = 71.531\%$, was auf die (moderierende) Wirkung von Drittvariablen hinweist und die Notwendigkeit differentieller Analysen unterstreicht.

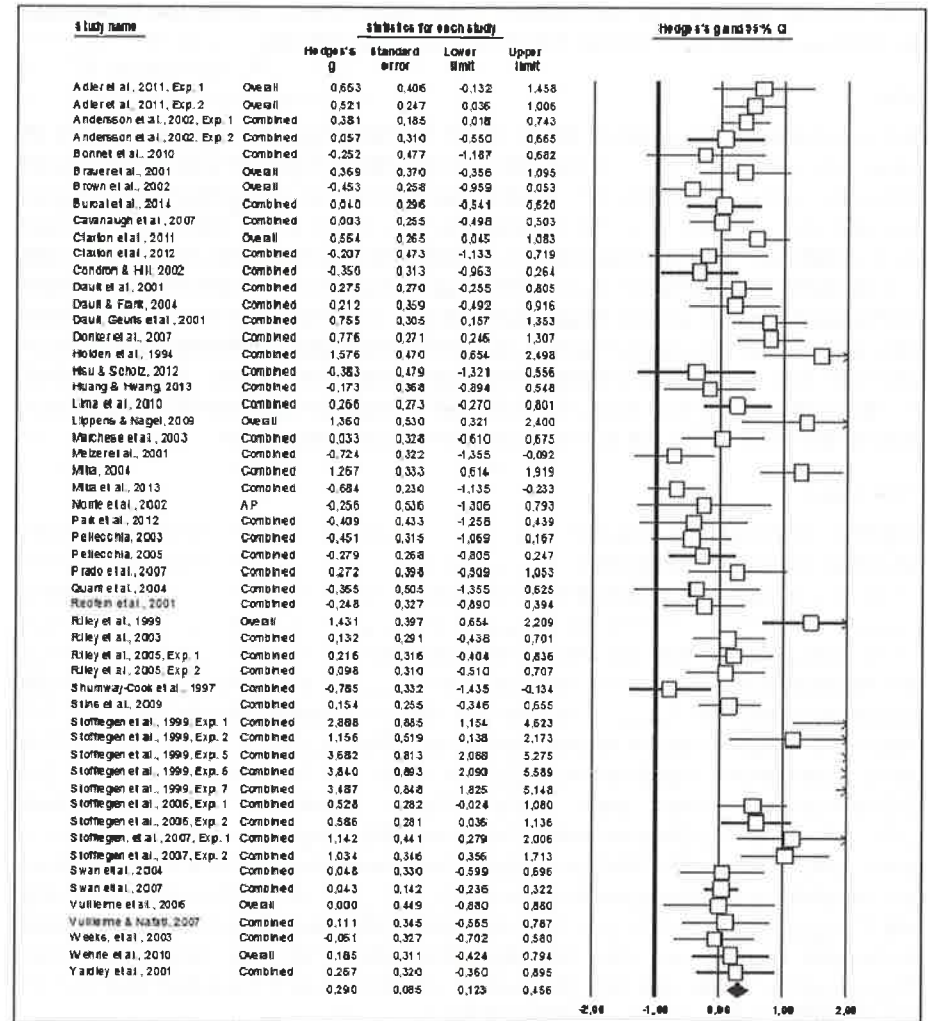


Abb. 3. Mittlere Effektstärken (Hedges g) der Primärstudien in der forest plot-Darstellung.

Anmerkung: Die Effektstärken der Experimente 1, 5, 6 und 7 von Stoffregen et al. (1999) liegen außerhalb des Skalenbereichs des forest plots.

4.4 Drittvariablen

Die Stufen der Drittvariablen bilden Subgruppen (z. B. Alter: jung/alt, SPA: kognitiv/perzeptiv/motorisch) auf der Ebene der Primärstudien. Eine Studie kann allerdings mehreren Subgruppen zugeordnet sein, z. B. wenn sie junge und ältere Probanden einschließt und für beide Teilstichproben separate Effektstärken berechnet werden konnten. Das Gesamt k ist hier deshalb in der Regel größer als 54. Die Ergebnisse der Drittvariablenanalyse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Alter

Der schwankungsreduzierende Effekt SPAn fällt bei jungen Probanden ($M = 24.25$ Jahre, $SD = 3.87$) mit $g_{jung} = 0.333$ ($SE = 0.096$) deutlich größer aus als bei älteren Probanden mit $g_{alt} = -0.086$ ($SE = 0.163$). Bei ersteren ist er signifikant verschieden von Null, $Z_{jung} = 3.461$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.145-0.522$, bei zweiteren nicht $Z_{alt} = -0.528$, $p = .598$ (zweiseitig), $KI = -0.406-0.234$. Entfernt man die Experimente 1, 5, 6 und 7 von Stoffregen et al. (1999) aus der Analyse, reduziert sich der Effekt für Primärstudien mit jungen Probanden auf $g_{jung^*} = 0.212$ ($SE = 0.082$); die Signifikanz bleibt bestehen, $Z_{jung^*} = 2.508$, $p = .010$ (zweiseitig). Im Paarvergleich unterscheiden sich die beiden Effektgrößen signifikant voneinander, $Z_{jung/alt} = 2.212$, $p = .027$ (zweiseitig). Das heißt, das Alter der Probanden hat einen Einfluss darauf, ob bzw. wie stark SPAn auf die Gleichgewichtsleistung einwirken.

SPA-Typus

Kognitive geprägte SPAn haben mit $g_{kognitiv} = -0.043$ ($SE = 0.090$) keinen signifikanten Effekt auf das Gleichgewicht, $Z_{kognitiv} = -0.482$, $p = .630$ (zweiseitig), $KI = -0.119-0.132$. Demgegenüber wirken perzeptive Aufgabenstellungen stark und signifikant, $g_{perzeptiv} = 0.795$ ($SE = 0.176$) mit $Z_{perzeptiv} = 4.526$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.451-1.139$. Allerdings sind hier die Effektstärken der Stoffregen et al.-Experimente enthalten. Rechnet man diese heraus, reduziert sich $g_{perzeptiv^*}$ auf 0.484 ($SE = 0.132$), bleibt jedoch signifikant mit $Z_{perzeptiv^*} = 3.659$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.225-0.744$. Für motorische Aufgaben ergibt sich ein schwacher Effekt, $g_{motorisch} = 0.228$ ($SE = 0.133$), der noch tendenziell signifikant ist, $Z_{motorisch} = 1.719$, $p = .086$, $KI = -0.032-0.488$. Der Q-Omnibus-Test zeigt, dass diese Effekte signifikant verschieden sind, $Q(2) = 18.471$, $p = .001$ (zweiseitig). Der paarweise Vergleich via Z-Test kommt zu dem Ergebnis, dass der Effekt perzeptiver Zusatzaufgaben signifikant größer ist als der kognitiver und motorischer Aufgaben, $Z_{perzeptiv/kognitiv} = 4.250$, $p = .001$ (zweiseitig) und $Z_{perzeptiv/motorisch} = 2.574$, $p = .010$ (zweiseitig). Motorische Aufgaben wirken noch tendenziell stärker auf die Gleichgewichtsleistung ein als kognitive SPAn, $Z_{motorisch/kognitiv} = 1.694$, $p = .090$ (zweiseitig). Der SPA-Typus moderiert also den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung.

Visuelles Umfeld

Bei geschlossenen Augen führen SPAn mit $g_{geschlossen} = 0.466$ ($SE = 0.130$) zu einer stärkeren Reduzierung der Körperschwankung als bei offenen Augen, $g_{offen} = 0.241$ ($SE = 0.091$). Beide Effektstärken sind signifikant von Null verschieden, $Z_{geschlossen} = 3.589$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.211-0.720$ und $Z_{offen} = 2.650$, $p = .008$ (zweiseitig), $KI = 0.063-0.419$. Bei Ausschluss der Experimente von Stoffregen et al. (1999) verringert sich g_{offen^*} auf 0.125 ($SE = 0.075$), bleibt jedoch signifikant, $Z_{offen^*} = 1.666$, $p = .096$ (zweiseitig), $KI = -0.022-0.272$. Der Z-Test zeigt mit $Z_{geschlossen/offen} = 1.419$, $p = .156$ (zweiseitig), keinen signifikanten Unterschied zwischen den Effektstärken an. Das heißt, das visuelle Umfeld hat keinen oder nur einen geringen Einfluss auf den Effekt der SPAn auf die Gleichgewichtsleistung.

Forschungsparadigma

Hat die Entscheidung bezüglich des Forschungsparadigmas einen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse? Offenbar ja, denn für Studien, die auf dem Konzept der funktionalen Integration fußen, ergibt sich mit $g_{funktionale\ Integration} = 0.729$ ($SE = 0.188$) ein von Null signifikant verschiedener Effekt, $Z_{funktionale\ Integration} = 3.886$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.362-1.097$, während der Effekt für Studien, denen der dual task-Ansatz zugrundeliegt mit $g_{dual\ task} = 0.062$ ($SE = 0.085$) deutlich kleiner und insignifikant ist, $Z_{dual\ task} = 0.793$, $p = .460$ (zweiseitig), $KI = -0.103-0.228$. Die beiden Effektstärken differieren nach dem Z-Test signifikant voneinander, $Z_{funktionale\ Integration/dual\ task} = 3.240$, $p = .001$ (zweiseitig). Dieses Ergebnis hat auch dann Bestand, wenn man die Stoffregen et al.-Experimente herausrechnet; der Effekt reduziert sich zwar auf $g_{funktionale\ Integration^*} = 0.392$ ($SE = 0.148$), bleibt aber mit $Z_{funktionale\ Integration^*} = 2.642$, $p = .008$ (zweiseitig), $KI = 0.101-0.683$ auf signifikantem Niveau.

Messinstrument

Ein schwankungsreduzierender Effekt der SPAn ist festzustellen, wenn das Gleichgewicht mit einem Trackingsystem erfasst wurde, $g_{Tracking} = 1.214$ ($SE = 0.309$); hier liegt Signifikanz vor, $Z_{Tracking} = 3.925$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.608-1.821$. Allerdings halbiert sich diese Effektstärke, wenn die Experimente vom Stoffregen et al. als Ausreißer entfernt werden, $g_{Tracking^*} = 0.556$ ($SE = 0.258$) mit $Z_{Tracking^*} = 2.156$, $p = .031$ (zweiseitig), $KI = 0.051-1.062$. Bei der Nutzung von Kraftmessplatten ergibt sich dagegen mit $g_{Kraftmessplatte} = 0.073$ ($SE = 0.068$) kein relevanter Effekt der SPAn, $Z_{Kraftmessplatte} = 1.083$, $p = .279$ (zweiseitig), $KI = -0.059-0.206$. Der Paarvergleich mit dem Z-Test indiziert, dass sich die Effektstärken für Tracking und Kraftmessplatte signifikant voneinander unterscheiden, $Z_{Tracking/Kraftmessplatte} = 3.602$, $p = .001$ (zweiseitig). Das heißt, auch von der Wahl des Messinstruments hängt es offenbar ab, ob ein Effekt SPAn auf die Gleichgewichtsleistung gefunden wird oder nicht.

Outcome

Wie oben beschrieben, wurde in den Primärstudien der "postural sway" des Körpers separat in anteroposteriorer (AP) und mediolateraler (ML) Richtung gemessen oder mit Overall-Indizes. Für die Messung in AP- und ML-Richtung ergeben sich mittlere Effekte von $g_{AP} = 0.434$ ($SE = 0.134$) und $g_{ML} = 0.406$ ($SE = 0.144$). Beide Effekte sind signifikant größer als Null, $Z_{AP} = 3.233$, $p = .001$ (zweiseitig), $KI = 0.171-0.697$ und $Z_{ML} = 2.803$, $p = .005$ (zweiseitig), $KI = 0.123-0.689$. Für die Messung mit Hilfe verschiedener Overall-Indizes, fällt der Effekt SPAN auf die Gleichgewichtsleistung mit $g_{Overall} = 0.132$ ($SE = 0.107$) geringer aus und verfehlt die Nullsignifikanz deutlich, $Z_{Overall} = 1.236$, $p = .217$ (zweiseitig), $KI = -0.078-0.342$. Der Q-Omnibus-Test zeigt, dass sich die genannten Effektstärken nicht signifikant voneinander unterscheiden, $Q(2) = 3.956$, $p = .138$ (zweiseitig). Die paarweise Prüfung durch den Z-Test bestätigt dies, $Z_{AP/ML} = 0.144$, $p = .885$ (zweiseitig), $Z_{AP/Overall} = 1.756$, $p = .079$ (zweiseitig), $Z_{ML/Overall} = 1.519$, $p = .129$ (zweiseitig).

Im Ergebnis der Drittvariablenanalyse können die für diesen Bereich formulierten Hypothesen H_2 und H_3 wie folgt entschieden werden: Die Hypothese H_2 ist teilweise verifiziert; Alter und SPA-Typus haben einen signifikanten Einfluss auf den Effekt SPAN auf die Gleichgewichtsleistung. Das visuelle Umfeld hat dagegen keinen signifikanten Einfluss. Die Hypothese H_3 ist ebenfalls teilweise verifiziert; Forschungsparadigma und Messinstrument haben einen signifikanten Einfluss auf den Effekt SPAN auf die Gleichgewichtsleistung. Der Outcome-Parameter hat dagegen keinen signifikanten Einfluss.

Tab. 2. Mittlere Effektstärken (Hedges g) in Abhängigkeit von Drittvariablen

Drittvariable	k	Subgruppen	Hedges g	KI	Sig.
Alter	47	jung	0.33	0.14-0.52	$p = .027$ $p = .103^*$
	43*		0.21*	0.05-0.37*	
SPA-Typus	12	alt	-0.08	-0.40-0.23	$p = .001$ $p = .003^*$
	22	kognitiv	-0.04	-0.21-0.13	
	22	perzeptiv	0.79	0.45-1.13	
18*	0.48*		0.22-0.74*		
Visuelles Umfeld	16	motorisch	0.22	-0.03-0.48	$p = .156$ $p = .023^*$
	49	Augen offen	0.24	0.06-0.41	
	45*		0.12*	-0.02-0.27*	
15	Augen geschlossen	0.46	0.21-0.72		
Forschungsparadigma	22	Funktionale Integration	0.72	0.36-1.09	$p = .001$ $p = .054^*$
	18*		0.31*	0.10-0.68*	
	26	Dual task	0.06	0.10-0.22	
Messinstrument	38	Kraftmessplatte	0.07	-0.05-0.20	$p = .001$ $p = .070^*$
	13	Trackingsystem	1.21	0.60-1.82	
	9*		0.55*	0.05-1.06*	
Outcome	26	Overall	0.13	-0.07-0.34	$p = .138$ $p = .709^*$
	31	AP	0.43	0.17-0.69	
	27*		0.18*	0.03-0.33*	
	28		0.40	0.12-0.68	
	24*	ML	0.27*	0.01-0.55*	

* Werte ohne die Experimente 1, 5, 6 und 7 von Stoffregen et al. (1999).

5 Diskussion

In neueren, ökologisch ausgerichteten Ansätzen der Gleichgewichtsforschung wird die funktionale Integration der Gleichgewichtskoordination in übergeordnete Handlungszusammenhänge betont. Diese Zusammenhänge sind immer dann gegeben, wenn die Gleichgewichtserhaltung (wie im Alltag gewöhnlich der Fall) kein Selbstzweck ist, sondern der Bewältigung einer anderen, supraposturalen Aufgabe (SPA) dient. Gleichgewichtsleistungen sollten demnach besser sein, wenn sie im Kontext solcher SPAN erbracht werden, als wenn sie isoliert stehen. Insgesamt ergibt sich jedoch zu dieser Annahme bisher eine inkonsistente Befundlage. Mit der vorliegenden Metaanalyse sollte deshalb zum einen die Gesamteffektstärke für die Wirkung von SPAN auf die Gleichgewichtsleistung ermittelt und zum anderen der Einfluss potentieller Dritt- bzw. Moderatorvariablen geprüft werden. Als Ergebnis einer kriterienbasierten Selektion wurden schließlich 45 Primärstudien mit 54 Experimenten und 235 Effektstärken kodiert und in die Metaanalyse einbezogen.

Für die Gesamtanalyse ergab sich mit $g_{gesamt} = 0.29$ zwar nur ein kleiner bis mittlerer Effekt, der aber ein positives Vorzeichen aufweist und signifikant verschieden von Null ist. Das heißt, Gleichgewichtsleistungen fallen wie im Konzept der funktionalen Integration postulierte tatsächlich signifikant besser aus, wenn sie im Kontext einer SPA erbracht werden. Allerdings spielen dabei eine Reihe von Drittvariablen eine wichtige Rolle. So ist der schwankungsreduzierende Effekt dann besonders stark ausgeprägt, wenn bei der SPA v. a. perzeptive Anforderungen im Vordergrund stehen wie z. B. die Suche nach Buchstaben in einem Text. Demgegenüber führen vorrangig kognitive oder motorische Anforderungen (z. B. Rückwärtszählen in Dreierschritten, Halten oder Berühren von Objekten) gar nicht oder kaum zu besseren Gleichgewichtsleistungen. Über die Gründe hierfür kann vorläufig nur spekuliert werden. Offenbar kommt es jedoch bei bestimmten Anforderungsprofilen der SPA bzw. der übergeordneten Tätigkeit nicht oder nur eingeschränkt zu einer Integration der posturalen Kontrolle, entweder, weil es für die Bewältigung der SPA nicht notwendig ist oder weil sie nicht gelingt. Im letzteren Fall könnten dann doch wiederum begrenzte Aufmerksamkeits- oder Gedächtnisressourcen eine Rolle spielen. Dagegen scheint die Aufgabenpriorisierung zumindest bei jungen Erwachsenen nur von untergeordneter Bedeutung zu sein. In der Studie von Wehrle et al. (2010) machte es jedenfalls keinen Unterschied, ob die Aufmerksamkeit auf der Gleichgewichtskontrolle, der kognitiven SPA oder beidem lag. Brown et al. (2002) zeigten in ihrer Studie, dass eine Priorisierung der posturalen Kontrolle nur unter der Bedingung des "increased postural threat", dem Stehen am Rande einer 1,4 Meter hohen Plattform, stattfindet – und dies v. a. bei älteren Erwachsenen.

Aus ontogenetischer Sicht ist ohnehin die starke Altersabhängigkeit der Wirkung SPAN bemerkenswert. Er tritt bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen auf, nicht aber bei älteren Erwachsenen über 60 Jahren. Offenbar lässt die Fähigkeit, die posturale Kontrolle den jeweiligen Anforderungen des Handlungskontexts anzupassen, mit dem Alter nach und verschwindet schließlich ganz. Dies liegt vermutlich

daran, dass sich mit zunehmendem Alter sensomotorische und kognitive Prozesse verlangsamen und damit auch die Integration multimodaler Reizmuster allmählich schwieriger wird (Adler et al., 2009). Aus der Sicht des Doppelaufgabenansatzes ist die altersbedingt ineffizienter werdende Kopplung von Gleichgewichtskontrolle und SPA dagegen weniger auf ein Integrationsdefizit zurückzuführen, als vielmehr Ausdruck steigender Doppelaufgabenkosten; nachlassende Ressourcen erfordern zunehmend die Priorisierung einer Aufgabe, was die Ausführung der anderen Aufgabe erschwert (Brown et al., 2002; Melzer et al., 2001).

Auffällig (und durchaus bedenklich) ist der in dieser Metaanalyse nachgewiesene Einfluss untersuchungsmethodischer Aspekte. So konnte z. B. eine SPA-bedingte Reduzierung der Körperschwankung nur in den Studien festgestellt werden, die für die Gleichgewichtsmessung optometrische Trackingsysteme verwendet hatten. In immerhin 38 Studien die dafür Kraftmessplatten eingesetzt hatten, fand sich dagegen im Mittel kein Effekt. Eine Deutung dieses Befundes ist schwierig, zumal Kraftmessplatten in der Lage sind, die Bodenreaktionskräfte zweidimensional sehr exakt und mit hoher Auflösung zu messen. Es wäre interessant, beide Systeme einmal in einer Studie unter den gleichen experimentellen Bedingungen einzusetzen, um die resultierenden Daten direkt miteinander vergleichen und Messartefakte ausschließen zu können. Sicher ist, dass das Körperschwanken in absoluten Werten in AP-Richtung deutlich größer ist als in ML-Richtung. Die Wirkung der SPA ist aber nach den Ergebnissen dieser Metaanalyse in beiden Dimensionen in etwa gleich groß. Eine deutlich geringere Effektstärke ergab sich für die Studien, in denen die Daten zur posturalen Kontrolle über Overall-Parameter verrechnet wurden.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass Metaanalysen natürlich bestimmten inhaltlichen und methodischen Limitationen unterliegen (ausführlich dazu: Bliesener, 1999; Bortz, 2005). Dazu gehört neben der inhaltlichen Vergleichbarkeit der Primärstudien (die hier durch die Formulierung einer Fragestellung und die Definition exakter Einschlusskriterien versucht wurde sicherzustellen) v. a. die oft mangelhafte Repräsentativität der Studien im Hinblick auf alle durchgeführten Studien. Tatsächlich haben sich auch für diese Metaanalyse trotz objektiver Selektions- und Kodierungsprozesse Hinweise darauf ergeben, dass ein Publikationsbias vorliegt, und zwar zugunsten „kleiner“ Studien mit stark positiven (und damit hypotesenkonformen) Effekten. Konkret handelte es sich um vier Experimente von Stoffregen et al. (1999), die aus diesem Grund als „Outlier“ separiert wurden, d. h. sämtliche Analysen erfolgten mit und ohne Einschluss dieser Experimente. Ein weiteres, hier (noch) nicht adressiertes Problem betrifft die methodische Qualität der Primärstudien, die ebenfalls die Ergebnisse einer Metaanalyse verzerrern kann. Es wird deshalb generell, z. B. in den Publikationen der Cochrane Collaboration (Higgins & Green, 2008), empfohlen, die Studienqualität systematisch zu bewerten, entweder, um sie a posteriori statistisch zu kontrollieren (z. B. indem sie als Drittvariable in die Analyse eingeht) oder um die Primärstudien a priori zu gewichten. Die vorliegende Metaanalyse wird um diesen Schritt demnächst ergänzt.

Literatur (* = In der Metaanalyse berücksichtigte Studien)

- *Adler, H., Lippens, V. & Nagel, V. (2009). Using challenging, natural environments to enhance balance performance in the elderly. In S. Loland, K. Bø, K. Fasting, J. Hallén, Y. Ommundsen, G. Roberts & E. Tsolakidis (Eds.), *14th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS). Book of abstracts* (pp. 87-88). Oslo: Gamlebyen Grafiske AS.
- *Andersson, G., Hagman, J., Taliانزاده, R., Svedberg, A. & Larsen, C. (2011). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, *58*, 135-139.
- 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.
- Bliesener, T. (1999). Methoden der systematischen Befundintegration – Eine Übersicht über Möglichkeiten und Grenzen der Meta-Analyse. In J. Wiemeyer (Hrsg.), *Forschungsmethodologische Aspekte von Bewegung, Motorik und Training im Sport* (S. 55-71). Hamburg: Czwalina.
- *Bonnet, C. T., Kinsella-Shaw, J. M., Frank, T. D., Bubela, D. J., Harrison, S. J. & Turvey, M. T. (2010). Deterministic and stochastic postural processes: Effects of task, environment, and age. *Journal of Motor Behavior*, *42*, 85-97.
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J. & Rothstein, H. (2005). *Comprehensive Meta Analysis, Version 2.0*. Englewood, NJ: Biostat.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Sozial- und Humanwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- *Brauer, S. G., Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *Journal of Gerontology*, *56*, 489-496.
- *Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A. & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *Journal of Gerontology*, *57*, 785-792.
- *Burcal, C. J., Drabik, E. C. & Wikstrom, E. A. (2014). The effect of instructions on postural-suprapostural interactions in three working memory tasks. *Gait & Posture*, *40*, 310-314.
- *Cavanaugh, J. T., Mercer, V. S. & Stergiou, N. (2007). Approximate entropy detects the effect of a secondary cognitive task on postural control in healthy young adults: A methodological report. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, doi: 10.1186/1743-0003-4-42.
- *Claxton, L. J., Haddad, J. M., Ryu, J. H., Ponto, K. & Newcomer, S. (2011). Newly standing infants exhibit more complex center of pressure patterns when engaging in a suprapostural task. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *33*, Supplem., 28-29.
- *Claxton, L. J., Strasser, J., Leung, E. & Ryu, J. H. (2012). Life-span changes in the integration of posture with other goal-directed behaviors: Standing infants adapt postural sway. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *34*, Supplem. 5-6.
- *Condron, J. E. & Hill, K. D. (2002). Reliability and validity of a dual-task force platform assessment of balance performance: Effect of age, balance impairment, and cognitive task. *Journal of American Geriatrics*, *50*, 157-162.
- *Dault, M. C., Frank, J. S. & Allard, F. (2001). Influence of a visuo-spatial verbal and central executive working memory task on postural control. *Gait & Posture*, *14*, 110-116.
- *Dault, M. C. & Frank, J. S. (2004). Does practice modify the relationship between postural control and the execution of a secondary task in young and older individuals? *Gerontology*, *50*, 157-164.
- *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.
- *Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J. & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, doi: 10.1007/s00221-007-0905-4.
- Fraizer, E. V. & Mitra, S. (2008). Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-task in upright stance. *Gait & Posture*, *27*, 271-279.
- Higgins, J. P. T. & Thompson S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, *21*, 1539-58.

- Higgins, J. P. T. & Green, S. (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*, version 5.0.0. The Cochrane Collaboration. [www://cochrane-handbook.org/](http://www.cochrane-handbook.org/)
- Higgins, J. P. T. et al. (2011). The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *British Medical Journal*, 343:d5928.
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6, 107-128.
- *Holden, M., Ventura, J. & Lackner, J.R. (1994). Stabilization of posture by precision contact of the index finger. *Journal of Vestibular Research*, 4, 285-301.
- *Hsu, W.-L. & Scholz, J. P. (2012). Motor abundance supports multitasking while standing. *Human Movement Science*, 31, 844-862.
- *Huang, C.-Y. & Hwang, I.-S. (2013). Behavioral data and neural correlates for postural prioritization and flexible resource allocation in concurrent postural and motor tasks. *Human Brain Mapping*, 34, 635-650.
- *Lima, A. C., Azevedo Neto, R. M. & Teixeira, L. A. (2010). On the functional integration between postural and supra-postural tasks on the basis of contextual cues and task constraint. *Gait & Posture*, 32, 615-618.
- Lippens, V. & Nagel, V. (2009). Alles im Lot? Begrenzte Ressourcen oder funktionale Integration bei dynamischen Gleichgewichts-Leistungen? *Spectrum der Sportwissenschaften*, 21, 21-37.
- *Marchese, R., Bove, M. & Abbruzzese, G. (2003). Effect of cognitive and motor task on postural stability in Parkinson's disease: A posturographic study. *Movement Disorders*, 18, 652-658.
- *Melzer, I., Benjuya, N. & Kaplanski, J. (2001). Age-related changes of postural control: Effect of cognitive tasks. *Gerontology*, 47, 189-194.
- *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, 28-38.
- *Mitra, S., Knight, A. & Munn, A. (2013). Divergent effects of cognitive load on quiet stance and task-linked postural coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39, 323-328.
- *Norrie, R. G., Maki, B. E., Staines, W. R. & McIlroy, W. E. (2002). The time course of attention shifts following perturbation of upright stance. *Experimental Brain Research*, 146, 315-321.
- *Park, E., Schöner, G. & Scholz, J. P. (2012). Functional synergies underlying control of upright posture during changes in head orientation. *PLoS ONE* 7(8): e41583. Doi:10.1371/journal.pone.0041583.
- *Pellecchia, G. L. (2002). Postural sway increases with attentional demands of concurrent task. *Gait & Posture*, 18, 29-34.
- *Pellecchia, G. L. (2005). Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. *Journal of Motor Behavior*, 37, 239-246.
- *Prado, J. M., Stoffregen, T. A. & Duarte, M. (2007). Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. *Gerontology*, 53, 274-281.
- *Quant, S., Adkin, A.L., Staines, W. R., Maki, B. E. & McIlroy, W. E. (2004). The effect of concurrent cognitive task on cortical potentials evoked by unpredictable balance perturbations. *BMC Neuroscience*, 5, 18-30.
- *Redfern, M. S., Jennings, R. J., Martin, C. & Furman, J. M. (2001). Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait & Posture*, 14, 211-216.
- *Riley, M. A., Stoffregen, T. A., Grocki, M. J. & Turvey, M. T. (1999). Postural stabilization for the control of touching. *Human Movement Science*, 18, 795-817.
- *Riley, M. A., Baker, A. A. & Schmitt, J. M. (2003). Inverse relation between postural variability and difficulty of a concurrent short-term memory task. *Brain Research Bulletin*, 62, 191-195.
- *Riley, M. A., Baker, A. A., Schmitt, J. M. & Weaver, E. (2005). Effect of visual and auditory short-term memory tasks on the spatiotemporal dynamics and variability of postural sway. *Journal of Motor Behavior*, 37, 311-324.
- Shadish, W. R. & Haddock, C. K. (1994). Combining estimates of effect size. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The handbook of research synthesis* (pp. 261-281). New York, NY: Russell Sage Foundation.
- *Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A. & Baldwin, M. (1997). The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *Journal of Gerontology*, 52, 232-240.
- *Stins, J. F., Michielsen, M. E., Roerdink, M. & Beek, P. J. (2009). Sway regularity reflects attentional involvement in postural control: Effects of expertise, vision and cognition. *Gait & Posture*, 30, 106-109.
- *Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G. & Pagulayan, R. J. (1999). Postural stabilization of looking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1641-1658.
- *Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Bonnet, C. T. & Pagulayan, R. J. (2006). Postural stabilization of visually guided eye movements. *Ecological Psychology*, 18, 191-222.
- *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.
- *Swan, L., Otani, H., Louber, P. V., Sheffert, S. M. & Dunbar, G. L. (2004). *British Journal of Psychology*, 95, 31-40.
- *Swan, L., Otani, H. & Louber, P. V. (2007). Reducing postural sway by manipulating the difficulty levels of a cognitive task and a balance task. *Gait & Posture*, 26, 470-474.
- *Vuillerme, N., Isableu, B. & Nougier, V. (2006). Attentional demands associated with the use of a light fingertip touch for postural control during quiet standing. *Experimental Brain Research*, 169, 232-236.
- *Vuillerme, N. & Nafati, G. (2007). How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing. *Psychological Research*, 71, 192-200.
- *Weeks, D. L., Forget, R., Mouchnino, L., Gravel, D. & Bourbonnais, D. (2003). Interaction between attention demanding motor and cognitive tasks and static postural stability. *Gerontology*, 49, 225-232.
- *Wehrle, A., Granacher, U. & Mühlbauer, T. (2010). Einfluss der Aufgabepriorisierung auf die Haltungskontrolle unter Doppeltätigkeitsbedingung. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 17, 29-35.
- *Yardley, L., Gardner, M., Bronstein, A., Davies, A., Buckwell, D. & Luxon, L. (2001). Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. *Journal of Neurosurg Psychiatry*, 71, 48-52.
- Ziegler, A., Lange, S. & Bender, R. (2004). Systematische Übersichten und Meta-Analysen. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 129, 11-15.